



TV og radio

4R

FORSKNING TIL SAMFUNNSNYTTE

Trekk ved nyere norsk
meteorologisk forskning

Øystein Hov (red.)



FAGBOKFORLAGET

Øystein Hov (Red.)

Forskning til samfunnsnytte

Trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning



FAGBOKFORLAGET

Boken ble første gang utgitt i 2023 på Vigmostad & Bjørke AS.

Redaksjonelt arbeid, utvalg og introduksjon © Øystein Hov 2023. Hvert enkelt kapittel © den respektive forfatter 2023.

Bokens artikler er redaksjonelt vurdert, men er ikke vurdert av ekstern fagfelle i tråd med Universitets- og Høgskolerådets kriterier for poenggivende publisering.

Kapittel 5 «Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC» ble først publisert i Mediehistorisk tidsskrift nr. 1 2021 (nr. 35) og er gjengitt med deres tillatelse.

Dette verket, tilgjengelig fra <https://oa.fagbokforlaget.no>, omfattes av åndsverksloven og er lisensiert under følgende Creative Commons-lisens: Navngivelse-Ingen bearbejdelser 4.0 Internasjonal (CC BY-ND 4.0).

Denne lisensen gir tillatelse til å kopiere, distribuere eller spre materialet i hvilket som helst medium eller format, inkludert kommersielle. Disse frihetene gis på følgende vilkår: Du må oppgi korrekt kreditering, oppgi en lenke til lisensen, og indikere om endringer er blitt gjort. Du kan gjøre dette på enhver rimelig måte, men uten at det kan forstås slik at lisensgiver bifaller deg eller din bruk av materialet. Dersom du remikser, bearbejder eller bygger på materialet, kan du ikke distribuere det bearbejdede materialet. Du kan ikke gjøre bruk av juridiske betingelser eller teknologiske tiltak som lovmessig hindrer andre i å gjøre noe som lisensen tillater.

For å se en kopi av denne lisensen, besøk <https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.no>

Lisensen gir deg ikke nødvendigvis alle de tillatelser som er nødvendig for din tiltenkte bruk. For eksempel kan andre rettigheter, som reklame-, personvern-, eller ideelle rettigheter, sette begrensninger på hvordan du kan bruke materialet.

ISBN trykt utgave: 978-82-450-4563-5
ISBN elektronisk utgave: 978-82-450-4560-4
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa2201>

Spørsmål om denne utgivelsen kan rettes til:
e-post: fagbokforlaget@fagbokforlaget.no
www.fagbokforlaget.no

Omslagsdesign ved forlaget
Sats: Type-it AS

Forord

Meteorologiens samfunnsbetydning er økende. Klimaendringene endrer værforholdene og sannsynligheten for ulike former for ekstremvær. Transformasjonen av energisystemet – energiomstillingen – innebærer at energi fra fossile karbonholdige reserver under bakken må erstattes av høsting av vind-, sol- og vannkraft på jordens overflate. Der vil de lokale meteorologiske forhold til enhver tid avgjøre energiproduksjonen, og den langsiktige klimautviklingen vil ha avgjørende betydning for investeringenes lønnsomhet. Vannforsyningen er væravhengig. Luftforurensninger påvirker helse, avlinger i jordbruket, vannkvalitet, økosystemers funksjonsevne og biologisk mangfold. Matforsyningen, transportsystemene i lufta, til sjøs, på vei og bane er værutsatte samfunnstjenester.

Hensikten med denne boken er å vise trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning der Meteorologisk institutt har bidratt. Artikkelsamlingen er skrevet for et fagkyndig publikum med tilknytning til eller interesse for meteorologi og tilgrensende fag. Boken bidrar også til Meteorologisk institutts institusjonshistorie og viser hvordan forskning, organisering og tjenesteyting har utviklet seg innenfor meteorologi- og jordsystemrelaterte problemstillinger etter hvert som disse er blitt mer og mer sentrale for samfunnsmaskineriet.

Forfatterne av denne artikkelsamlingen har eller har hatt tilknytning til Meteorologisk institutt som forskere og ledere i ulike roller. Dét kan være en fordel i fremstillingen av grunnlaget for og bredden i utviklingen av norsk meteorologisk forskning der Meteorologisk institutt har bidratt. Men det betyr også at vi har skrevet «vår egen» historie. Manglende distanse til stoffet kan ha ført til ensidigheter og skjevheter i fremstillingen.

Forfatterne står ansvarlig for bokens innhold og konklusjoner. Meteorologisk institutt har bidratt med økonomiske ressurser. Agnes Næss Eriksen har hjulpet til med å finne materiale i instituttets arkiv. Harald Schyberg ved

Meteorologisk institutt har lest manuskriptet og har bidratt til forbedringer. Mange har vært diskusjonspartnere i enkeltpørsmål, bl.a. Anders Elverhøi om energisystemet og forskningens samfunnsrolle.

Oslo, 23. november 2022

Øystein Hov

Innhold

Forord

1

Forskning til samfunnsnytte – trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning 15

Øystein Hov og Anton Eliassen

- 1.1 Hva innebærer «forskning til samfunnsnytte»? 15
 - 1.1.1 Hva karakteriserer utbyttet av «forskning til samfunnsnytte»? 21
 - 1.1.2 Forskningens frihet 23
 - 1.1.3 Om å «ta og beherske territorier» 26
 - 1.1.4 Operasjonell infrastruktur bør også være forskningsinfrastruktur 28
 - 1.1.5 Dataforvaltning 32
 - 1.1.6 Formidling. Eksemplet yr.no 35
 - 1.1.7 Samarbeid, arbeidsdeling og konsentrasjon i forskning, tjenesteyting og samfunnsnytte i jordsystemsammenheng 38
 - 1.1.8 Verden er langt inne i klimaforandringene 39
 - 1.1.9 Værets betydning for vann, energi, mat, miljø og samfunnsikkerhet øker raskt 42
- 1.2 Bokens innhold – kort presentasjon av fem artikler 43
 - 1.2.1 Utviklingen av numerisk værvarsling i Norge 43
 - 1.2.2 Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle 45
 - 1.2.3 Norges vei til medlemskap i European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 45
 - 1.2.4 Norske forskeres varslings av klimaendringer før IPCC 47
 - 1.2.5 «Hurum-saken» og Meteorologisk institutts målinger 47
 - 1.2.6 Andre trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning 49
- 1.3 Publisert litteratur om norsk meteorologisk forskning 49
 - 1.3.1 Vitenskapsakademiets institutt for vær- og klimaforskning ved Universitetet i Oslo (1947–1960) 51
 - 1.3.2 Et sideblikk til Bergen 53

2

Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og norsk akademia 58

Trond Iversen

2.1	Motivasjon	58
2.2	En eksakt naturvitenskap	60
2.3	Norske bidrag til verdens første vellykkede numeriske værvarsel	63
2.4	Faglige og teknologiske betingelser for NWP på 1950-tallet	70
2.4.1	USA: Princeton-prosjektets fortsettelse	71
2.4.2	Skandinavia: Rossby og Stockholmprosjektet	73
2.5	Utviklinger i Norge 1950–1980	77
2.5.1	1950-tallet: ingen norsk regnemaskin	78
2.5.2	1960-tallet: «FACIT-tiden»	86
2.5.3	1970-tallet: balanserte modeller på Nordic-anlegget	91
2.5.4	1980-tallet: NorLAM – Norwegian Limited Area Model	97
2.5.5	Pionertid for NWP ved DNMI	99
2.6	Utvikling av europeisk samarbeid om LAM-NWP	104
2.6.1	HIRLAM – Det nordiske samarbeidet om en «High Resolution Limited Area Model»	107
2.7	Noen trekk ved Meteorologisk institutts NWP siden HIRLAM	118
2.8	Tanker om samfunnsnyten av numerisk værvarsling	130

3

Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle 133

Øystein Hov (red.)

3.1	Innledning: Fra kartlegging av Norges klimatologi til klimasystemforskning	133
-----	--	-----

Øystein Hov

3.1.1	Kartlegging av Norges klima har vært Meteorologisk institutts territorium	134
3.1.2	Klimasystemet i endring. Fra klimatologi til klimasystemforståelse	137
3.1.3	Klimaforskningens infrastruktur	143
3.1.4	Forskning til samfunnsnytte – formidling av klimakunnskap	144

3.2	Kartlegging av Norges klima	149
3.2.1	Meteorologisk institutts stasjonsnett – innledning	149
	<i>Øystein Hov</i>	
3.2.2	Utviklingen av Meteorologisk institutts stasjonsnett	150
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.3	Kvalitetskontroll og system for lagring og henting av data	152
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.4	Innovasjon ved Meteorologisk institutt: Utvikling og testing av nytt måleutstyr	153
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.5	Anvendt klimatologi og samfunnsnyttige klimadata	159
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.5.1	<i>Normaler</i>	159
3.2.5.2	<i>Snøforhold og snøakkumulering</i>	162
3.2.5.3	<i>Dimensjonerende verdier</i>	164
3.2.5.4	<i>Korttidsnedbør og intensitet-varighet-frekvens (IVF)-verdier</i>	166
3.2.5.5	<i>Romlig modellering av ulike klimaelement</i>	167
3.2.6	Internasjonalt samarbeids betydning for klimatologiforskningen	168
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.7	Homogenisering av dataseriar	173
	<i>Øyvind Nordli</i>	
3.2.8	Etablering av lange, homogene dataseriar for Noreg	175
3.2.8.1	<i>Bruk av ulike datakilder for å forlenge dataseriar bakover i tid</i>	175
	<i>Øyvind Nordli</i>	
3.2.8.2	<i>Lange temperatur-seriar</i>	178
	<i>Øyvind Nordli</i>	
3.2.8.3	<i>Lange nedbørseriar</i>	184
	<i>Eirik J. Førland</i>	
3.2.9	Observasjoner i Arktis	186
	<i>Ketil Isaksen</i>	
3.2.9.1	<i>Meteorologisk institutt i norsk polarhistorie</i>	186
3.2.9.2	<i>Værstasjonene på Svalbard og Jan Mayen var sentrale i andre verdenskrig</i>	188

3.2.9.3	<i>Analyse av Svalbards klima</i>	191
3.2.9.4	<i>Etableringen av en homogenisert langtidsserie for Svalbard</i>	194
3.2.9.5	<i>Klimamodellering og projeksjoner</i>	196
3.2.9.6	<i>Nasjonalt og internasjonalt samarbeid</i>	199
3.2.10	Permafrost som en del av klimaforskningen ved Meteorologisk institutt	202
	<i>Ketil Isaksen</i>	
3.2.11	Marine observasjoner	205
	<i>Knut Arne Iden</i>	
3.2.11.1	<i>Andre maritime måleprogrammer som Meteorologisk institutt deltar i</i>	208
3.2.11.2	<i>Anvendelser av data fra norsk kontinentalsokkel</i>	209
3.2.12	Værskip Polarfront på stasjon M	211
	<i>Øystein Hov</i>	
3.2.12.1	<i>«Last weather ship faces closure», News-artikkel i Nature</i>	213
3.2.12.2	<i>Skriflig spørsmål fra stortingsrepresentant Gunnar Kvassheim (V) til forsknings- og høyere utdanningsminister Tora Aasland</i>	215
3.2.12.3	<i>Skadeavbøtende tiltak</i>	217
3.2.13	Observasjoner av atmosfærens kjemiske sammensetning. Dataforvaltning på tvers av jordsystemets komponenter	220
	<i>Øystein Hov</i>	
3.3	Klimasystemet er i endring. Forskning for å forstå årsaker, omfang og hva som kan ventes framover	223
	<i>Trond Iversen</i>	
3.3.1	Nasjonalt koordinert forskning: klimaprosesser, jordsystemet og klimaberegninger	224
3.3.2	RegClim: En strategisk satsing under Norges forskningsråd	229
3.3.2.1	<i>Plandokumenter og nye bevilgninger</i>	230
3.3.2.2	<i>Norsk klimamodellering før RegClim</i>	233
3.3.2.3	<i>Regional klimamodellering og nedskalering i andre land</i>	237
3.3.3	RegClim-prosjektets gjennomføring og resultater	241
3.3.3.1	<i>Søknadsprosesser og prosjektets faser</i>	241
3.3.3.2	<i>Samarbeid og møtevirksomhet</i>	252

3.3.3.3	<i>Vitenskapelige resultater</i>	257
3.3.3.4	<i>Bidrag til forskning på effekter av klimaendringer</i>	264
3.3.3.5	<i>RegClims nytteverdi for samfunnet og allmennheten</i>	266
3.3.4	NorESM: Etablering av en norsk global jordsystemmodell	273
3.3.5	Empirisk-statistisk nedskalering for studier av lokale konsekvenser av globale klimaberegninger	280
	<i>Rasmus Benestad</i>	
3.3.6	Oseanografisk klimaforskning	287
	<i>Lars Petter Røed</i>	
3.3.6.1	<i>Hindcast-arkivet</i>	288
3.3.6.2	<i>Utvikling av havvarslingsmodeller</i>	289
3.3.6.3	<i>Oseanografisk modellering som bidrag til Meteorologisk institutts tjenesteyting</i>	293
3.3.6.4	<i>Internasjonalt og nasjonalt samarbeid om havvarsling</i>	293
3.3.6.5	<i>Oseanografi som bidrag til Meteorologisk institutts klimaforskning</i>	294
3.3.7	Atmosfærekjemisk forskning i klimasammenheng	295
	<i>Øystein Hov</i>	
3.3.7.1	<i>Tilbakeblikk, Institutt for geofag, Universitetet i Oslo og Meteorologisk institutt</i>	296
3.3.7.2	<i>NILU og Meteorologisk institutt</i>	302
3.3.7.3	<i>Internasjonale forbindelser</i>	303
3.3.8	Norsk klimaservicesenter (KSS)	305
	<i>Inger Hanssen-Bauer</i>	
3.3.8.1	<i>Nasjonal forankring og etablering av KSS</i>	305
3.3.8.2	<i>Mandat og visjon</i>	306
3.3.8.3	<i>Klimaservicesenterets bidrag i produksjonskjeden</i>	307
3.3.8.4	<i>Forskningsprosjekter</i>	309
3.3.8.5	<i>Kobling til internasjonal utvikling</i>	311
3.3.8.6	<i>Nasjonale versus internasjonale klimatjenester</i>	312
3.3.9	Formidling og konfrontasjoner i klimaforskningen i internettalderen	313
	<i>Rasmus Benestad og Øystein Hov</i>	
3.4	Klimaforskningens videre rolle for Meteorologisk institutts kartlegging og formidling av Norges klimatologi	317
	<i>Øystein Hov og Anton Eliassen</i>	

Veien til Norges medlemskap i ECMWF 321

Øystein Hov og Anton Eliassen

- 4.1 Innledning 321
- 4.2 Politiske og faglige trekk på slutten av 1960-tallet 322
- 4.3 Framveksten av COST-samarbeidet ledet av EF 326
- 4.4 DNMI sier at Prosjekt70 er «helt unødvendig» 329
- 4.5 COST70 og COST61a var sammenfallende i tid, men diametralt
forskjellige i norsk oppfølging 332
- 4.6 COST-samarbeidets mellomstatlige karakter 334
- 4.7 Hva karakteriserer WMOs funksjonsmåte? 343
- 4.8 Gjennomføring av COST-prosjektene fra 1970 og utover 344
- 4.9 Framdrift i forberedelsen av det europeiske regnesentret for
mellomlange værvarsler (1970) 345
- 4.10 Redegjørelse fra Fjørtoft til Enevald Skadsem 7. juli 1971 345
- 4.11 Standhaftighet i DNMI's opprinnelige standpunkt. Ekspedisjonssjef
Enevald Skadsems rolle 350
- 4.12 Noen glimt fra det forberedende arbeidet med
ECMWF-konvensjonen 352
- 4.13 Konvensjonsteksten slutføres 355
- 4.14 Departementet ville ha meteorologenes vurdering av Norges stilling
i det internasjonale samarbeidet 356
- 4.15 Fjørtoft bekrefter sitt opprinnelige standpunkt fra 1969 før han går
av i 1978 366
- 4.16 Kaare Langlo tiltrer som DNMI's direktør høsten 1978 369
- 4.17 Departementet spør Arnt Eliassen og Arne Grammeltvedt om deres
syn på ECMWF-medlemskap 377
- 4.18 DNMI foreslår norsk medlemskap i ECMWF 379
- 4.19 Forsker Sigbjørn Grønås, DNMI, skrev til statsråd Lars Roar
Langslet 12. mai 1983 381
 - 4.19.1 Kaare Langlo gikk av 30. september 1983. Arne Grammeltvedt
etterfulgte og skrev nye brev til Kultur- og
vitenskapsdepartementet 383
 - 4.19.2 En ny kanal åpnes for norsk medlemskap i ECMWF via
Miljøverndepartementet 385

4.20	Litt om norsk ozonlagsforskning og forskerrollen som ekspert i internasjonale policy-forhandlinger	389
4.21	Koordinering av europeisk miljørettet atmosfæreforskning	392
4.22	Medlemskapet i ECMWF nærmer seg	394
4.23	Sluttord	396
5		
	Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC	403
	<i>Trond Iversen, Anton Eliassen og Øystein Hov</i>	
5.1	Innledning	403
5.2	Forskeres formidling kontra journalisters	404
5.3	Hva kunne formidles om klimaendringer 1959–1988?	405
5.4	Hva var norske forskere opptatt av den gang?	408
5.5	Og hva er situasjonen nå?	410
5.6	Avslutningsvis	411
6		
	Måleprosjektet på Hurum	414
	Tilsvar til 30 år med mistenkeliggjøring av måleprosjektet	
	<i>Per-Ove Kjensli, Lars Andresen, Knut Harstveit, Ove Grasbakken</i>	
6.1	Innledning	414
6.2	Oppdraget fra Luftfartsverket	416
6.3	Måleprosjektet på Hurum	417
6.4	Beskrivelse av tåkeforhold i Oslofjord-området	421
6.4.1	Forskjellige typer tåke	421
6.4.2	Tåkehypighet i Oslofjord-området	422
6.5	Beregningsmetoder og analyse av måledata	423
6.5.1	Modell for beregning av sikt i andre høydenivåer enn målt	423
6.5.2	Omregning av resultater for måleperiode til langtidsperiode	423
6.5.3	Omregning av visuell sikt til rullebanesikt	424
6.6	Kvalitetssikring	424
6.6.1	Innsamling av data – kvalitetsrutiner ved DNMI	424
6.6.2	Ekstern kvalitetssikring – Styringsgruppen (Hafnor-utvalget)	425
6.6.3	Ekspertgruppen – Surlien-utvalget	428

6.6.4	Stortingets avsluttende gjennomgang av flyplassaken – Smith-kommisjonen	430
6.7	Uriktige påstander om Hurum-prosjektet	431
6.7.1	Måleinstrumentene på Hurum var plassert feil	431
6.7.2	Siktmålerne var tidvis dekket av plastikk, påført vaselin	432
6.7.3	Hvor er det påståtte «tåkehavet» på Hurum?	433
6.7.4	Misvisende Hurum-rapporter fra Klimaavdelingen	434
6.7.5	Målingene på Hurum ble ikke gjennomført etter planen	436
6.7.6	Usikkerhet i beregningene av værmessig tilgjengelighet	437
6.7.7	Siktmålerne på Hurum var feilkalibrert	437
6.7.8	TVNorges «Mannen som falt» og uriktige påstander	438
6.7.9	Siktmålerne på Hurum var manipulert	440
6.7.10	Vinterværet er vanskeligere på Gardermoen enn på Hurum	442
6.8	Konklusjon	444
	Appendiks 6.1 – DNMI's brev til Kringkastingsrådet	446
	Appendiks 6.2 – DNMI's klage til Kringkastingsrådet (vedlegg til brev)	448
	Appendiks 6.3 – Kringkastingsrådets svar til DNMI	453
	 Forfattere	 455
	 Personregister	 459
	 Sammendrag	 465

Hov, Ø. & Eliassen, A. (2023). Forskning til samfunnsnytte – trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning. I Ø. Hov (Red.), *Forskning til samfunnsnytte: trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning* (s. 15–57). Fagbokforlaget.
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220101>

1

Forskning til samfunnsnytte – trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning

Øystein Hov og Anton Eliassen

1.1 Hva innebærer «forskning til samfunnsnytte»?

Hensikten med denne boken er å beskrive trekk ved norsk meteorologisk forskning i hovedsak fra 1960-tallet og framover der Meteorologisk institutt har bidratt.¹ Denne forskningen kan karakteriseres som «forskning til samfunnsnytte». I slik forskning utgjør observasjoner og numerisk modellering

¹ Meteorologisk institutts forskningsmandat er uttrykt f.eks. på side 84 i proposisjonen til statsbudsjett fra KLD for 2023: «Forskningsverksemda til MET har som formål å utvikle samfunnsnyttige tenester. Forskinga blir raskt operasjonalisert, og tilbakemeldingar frå både interne og eksterne brukarar skal drive forskinga framover. Det er utbreidd nasjonalt og internasjonalt samarbeid på forskings- og utviklingsområdet.»

grunnlaget for å utvikle eller forbedre prognoser og spesialisert informasjon om vær, klima og miljø. Slik informasjon og slike tjenester formidles for å redde liv, beskytte samfunnets infrastruktur slik som i transportsektoren både til lands, vanns og i luften, og til å redusere mange av risikoelementene i produksjonslivet, slik som i landbruket og i energiforsyningen. Erfaringene som vinnes gjennom anvendelsene, brukes videre i forskningen. Dette er «forskning til samfunnsnytte» i praksis.

Meteorologisk forskning har som mål å forstå atmosfærens bevegelser, fysiske og kjemiske prosesser, energioverføringer og stabilitet. Målsettingen kan være å forbedre værvarsler, å forstå jordas klima og miljø globalt, regionalt og lokalt, og der også biogeokjemiske kretsløp, disponeringen av jordoverflaten (arealbruk), hydrologi, oseanografi og snø- og isdekke (kryosfæren) spiller en viktig rolle.

Meteorologiske tjenester er av stor samfunnsbetydning. World Economic Forum rangerte våren 2022 de fem alvorligste globale risikoene slik: utilstrekkelige klimatilstand, ekstremvær, tap av biodiversitet, levekårskrise og samfunnsmessig oppløsning. Vurderingen var gjort ut fra sannsynlighet og konsekvens.² De tre første er dominert av været, i de to siste kan været over tid bidra betydelig.

I utviklingen av meteorologiske tjenester er det økende vekt på å etablere en velfungerende, brukerinformert og forskningsdrevet, sammenhengende verdikjede eller verdisyklus med overskrift «forskning til samfunnsnytte». F.eks. heter det i Meteorologisk institutts strategiplan 2022–2031 at «forskningen vår omformer vitenskap til operasjonelle tjenester av høy internasjonal kvalitet». Verdens meteorologiorganisasjon WMO har en lignende målformulering i strategiplanen for 2020–2023³, «Advance targeted research: Leveraging leadership in science to improve understanding of the Earth system for enhanced services». Tankegangen er beskrevet og illustrert

2 «The Global Risks Perception Survey (GRPS) is the World Economic Forum's source of original risks data, harnessing the expertise of the Forum's extensive network of academic, business, government, civil society and thought leaders. Survey responses were collected from 8 September to 12 October 2021 from the World Economic Forum's multistakeholder communities (including the Global Shapers Community), the professional networks of its Advisory Board, and members of the Institute of Risk Management.» The Global Risks Report 2022, 17th Edition, World Economic Forum, s. 109.

3 https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9939

i en publikasjon fra 2020 som sprang ut fra strategiarbeidet i WMO, og som figur 1.1 er hentet fra.⁴

Operasjonelle tjenester

Begrepet operasjonell, som brukt i operasjonelle tjenester, innebærer at en rutine er utviklet og satt i drift. Rutinen er først prøvd ut og forbedret i en periode under alle slags forhold som den kan møte og må virke for når den settes i fast drift. Operasjonelle tjenester er ofte automatiske og styrt av informasjonsteknologiske løsninger som både innebærer automatisk flyt av input data, ofte i nær sann tid, beregning av parametre som har særlig relevans for spesifikke behov, og utsendelse av tjenestene til f.eks. en dataservert der brukere kan hente dem. Brukerorganisasjonen henter gjerne data til egen server og bruker dem i egne systemer for utvikling og produksjon av spesialiserte tjenester. Et operasjonelt system i værvarsling er en rutine som oppdateres og gjentas hver 6. time eller enda oftere døgnet rundt og i alle årets dager (24/7/365) og der resultatene f.eks. fremstilles på værtjenester som www.yr.no. Deler av en operasjonell tjeneste kan innebære involvering av mennesker, som f.eks. meteorologenes utarbeiding av farevarsler basert på automatisk genererte data.

Å operasjonalisere et forskningsresultat i meteorologi er en omfattende og teknisk krevende prosess der det på objektivt grunnlag ved hjelp av metrikker for resultat kvaliteten må slås fast at endringen innebærer merkbare og kostnadseffektive forbedringer under nær sagt alle slags forhold. Resultatene i andre deler av beregningsapparatet (modellen) må ikke påvirkes negativt og miste kvalitet, og kravet til regnemaskin- og datalagringskapasitet må stå i forhold til forbedringen i resultat kvaliteten. Svært ofte vil tilsynelatende interessante, enkeltstående forskningsresultater ikke egne seg for operasjonalisering, fordi et eller flere av disse kriteriene ikke tilfredsstilles, f.eks. at forskningsresultatet ikke er generelt nok til å ha gyldighet for en tilstrekkelig stor del av mulighetsrommet som det utsettes for i rutineanvendelse.

4 Ruti, P.M., Tarasova, O., Keller, J.H., Carmichael, G., Hov, Ø., Jones, S.C., Terblanche, D., Anderson-Lefale, C., Barros, A.P., Bauer, P., Bouchet, V., Brasseur, G., Brunet, G., DeCola, P., Dike, V., Kane, M.D., Gan, C., Gurney, K.R., Hamburg, S., Hazeleger, W., Jean, M., Johnston, D., Lewis, A., Li, P., Liang, X., Lucarini, V., Lynch, A., Manaenkova, E., Jae-Cheol, N., Ohtake, S., Pinardi, N., Polcher, J., Ritchie, E., Sanya, A.E., Saulo, C., Singhee, A., Sopaheluwakan, A., Steiner, A., Thorpe, A. & Yamaji, M. (2020). Advancing Research for Seamless Earth System Prediction, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), E23–E35. Retrieved Mar 28, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/101/1/bams-d-17-0302.1.xml>

En operasjonell tjeneste må fungere selv om f.eks. viktige input-data skulle utebli, eller regnekapasiteten svikter. Det må være backup-løsninger som fungerer hvis deler eller hele systemet skulle svikte, f.eks. fordi flyten av observasjoner eller viktige randdata for modellberegningene uteblir. Operasjonalisering innebærer derfor å ha avanserte og nøye planlagte løsninger med back-up, og også med back-up for back-up, for å sikre kontinuitet i produksjonen under uforutsette hendelser.

I den virkelige verden krever overgangen («oversettelsen») fra «forskningsoppgivelse» til «anvendelse» store ressurser og høy informasjonsteknologisk og meteorologifaglig kompetanse, og er en hovedgrunn til at de beste operasjonelle værvarslene beregnes i dedikerte sentre som har dette som hovedoppgave, og der den operasjonelle infrastrukturen er institusjonens grunnpillars, samtidig som den også er forskningsinfrastrukturen. Det omvendte (at en god forskningsinfrastruktur også tas i bruk som den operasjonelle infrastrukturen) gir ofte et svakere operasjonelt resultat, dvs. en tjeneste av gjennomgående lavere kvalitet. Værprognosene fra European Centre for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) har lenge vært de beste i verden og bygger på denne filosofien.

Forskning med mål om «å forbedre værvarslingen» og som er løsrevet fra de operasjonelle tjenestene og erfaringene som forutsettes å bli forbedret, lykkes sjelden med sin målsetting.

Forskning og tjenesteyting knyttet til vær, klima, miljø, hydrologi, oseanografi, kryosfæren og terrestriske prosesser, kort sagt jordsystemets deler, baserer seg på en systematisk infrastruktur. Den består av observasjoner (som trengs overført i nær sanntid når prognoser skal beregnes), numeriske modellsystemer for vær- eller jordsystemprognoser, store regneressurser og datalagrings- og dataoverføringskapasitet, og data-assimilasjon der starttilstanden for prognoseberegningene optimaliseres. Dette gjøres for å komme så nær observasjonene som mulig i starten av beregningene samtidig som ligningssystemet som modellen baserer seg på, er tilfredsstillt. En slik systematisk infrastruktur kalles gjerne et «backend-system» som fungerer både operasjonelt og som infrastruktur for videre forskning. Gjennom ensembleberegninger tas det hensyn til usikkerhetene i initial- og randbetingelsene og i selve modellsystemet, slik at prognosen ikke er deterministisk med bare én realisering av mulig utvikling i vær, klima eller miljø. Det beregnes en rekke prognoser som alle anses å ha lik sannsynlighet, og det fremkommer en stati-

stisk fordeling av mulige utfall. Rutinemessige analyser av samsvaret mellom prognoseresultatene og observert utvikling utgjør en viktig del av kunnskaps- og erfaringsinnhenting fra driften av det operasjonelle systemet. Standardiserte og åpne systemer for datalagring, datasøk, datatilgang og datagjenbruk er av avgjørende betydning for verdiøkningen som systemet står for gjennom tjenesteproduksjon og videre forskning. Se figur 1.1.

Resultatene fra backend-systemet etterbehandles gjerne i en tilknyttet, nedstrøms infrastruktur («frontend») for å legge til rette for spesialiserte anvendelser. Anvendelsene kan være i tjenester for allmennheten eller for spesifikke formål innen energiproduksjon og distribusjon, trafikkavvikling (vei, luft, sjø og bane), landbruk og andre økosystemtjenester, luftforurensning og helsepåvirkning, vanntilgjengelighet og -kvalitet, vær med stort skadepotensial («ekstremvær»), offshore- og kystaktiviteter, militæret, turisme og andre sektorer. Frontend-etterbehandlingssystemene kan være ganske komplekse og forskningsintensive, gjerne basert på anvendelsesspesifikke observasjoner og modeller, og gjerne utviklet i et samvirke mellom forskere, IT-utviklere og eksperter på anvendelser. Flyværværvarling baserer seg for eksempel på frontend-systemer som tradisjonelt har krevd store ressurser i nasjonal og internasjonal meteorologi.

Tradisjonelt har numerisk værværvarling vært basert på modeller som behandler atmosfærens dynamikk og fysikk, mens betydningen av prosesser knyttet til ferskvann, jordoverflate og vegetasjon, økosystemer, hav og sjøis og atmosfæriske prosesser i f.eks. skyer, stråling, turbulens og grunn og dyp konveksjon, har vært hensyntatt gjennom parameteriseringer snarere enn eksplisitte beskrivelser av prosessenes virkemåte. Erfaringene bl.a. fra klimamodellering har ført til at evnen til å beskrive og koble jordsystemets ulike komponenter sammen på prosessnivå, etter hvert er blitt utviklet. Modelleringen er blitt «sømløs» ved at prosessene mellom jordsystemets ulike deler er beskrevet og koblet sammen. Over tid vil resultatene av dette øke forståelsen av samvirket mellom jordsystemets komponenter. Det vil gi grunnlag for økt kvalitet i tjenesteytingen og i forskningen videre.⁵ Innsikt og tillit

5 Brunet, G., M. Shapiro, B. Hoskins, M. Moncrieff, R. Dole, G.N. Kiladis, B. Kirtman, A. Lorenc, B. Mills, R. Morss, S. Polavarapu, D. Rogers, J. Schaake & J. Shukla (2010). Collaboration of the Weather and Climate Communities to Advance Subseasonal-to-Seasonal Prediction, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1397–1406.

bygges når praksis og erfaringer deles over tid mellom forskere, brukere og IT-utviklere. Gjennom det realiseres og forsterkes verdisyklusen, illustrert i figur 1.1.

Denne tankegangen er en forutsetning for å nå mange av FNs 17 bærekraftsmål (SDG-er) som er knyttet til vær, klima og miljø,⁶ og for å kunne lykkes med å flytte høstingen av energi fra under bakken i form av olje, gass og kull til å høste sol-, vind- og vannkraft på jordens overflate.

Etableringen av velfungerende verdikjeder har hatt avgjørende betydning for kvaliteten på vær- og klimainformasjonen som Meteorologisk institutt i Norge og andre lands nasjonale meteorologiske institutter formidler. Verdens meteorologiorganisasjon WMO har i etterkrigstiden hatt standardisering og etablering av det faglige grunnlaget for alle deler av den meteorologiske verdikjeden som hovedoppgave og prioritering, inkludert utveksling av data i sann tid. WMO er en mellomstatlig konvensjon med direktørene for de nasjonale meteorologiske instituttene som landenes faste representanter, en sterk konstruksjon som har sørget for at oppmerksomheten har vært samlet om det tekniske og faglige grunnlaget og ikke så mye på å slå kortsiktig og politisk mynt på meteorologiutviklingen internasjonalt.

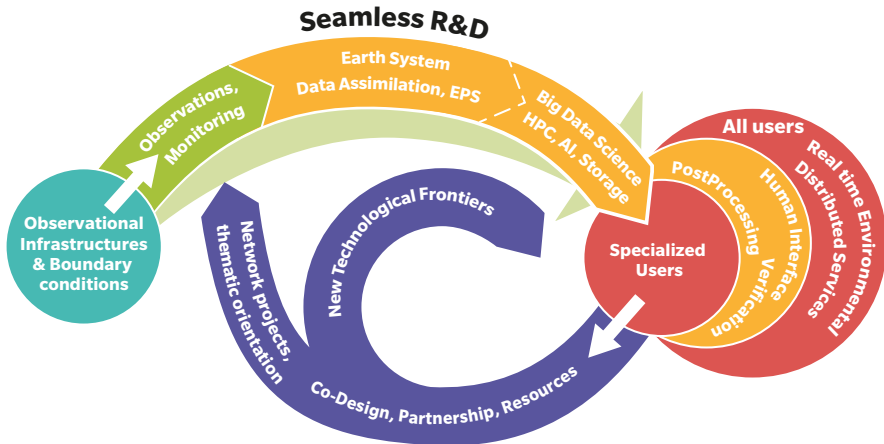
Brunet, G., S. Jones & P. Ruti (red.) (2015). Seamless prediction of the Earth system from minutes to months. *The collection of White Papers from the World Weather Open Science Conference in Montreal, Canada 16–21 August 2014*. WMO-No. 1156, Geneva.

Shapiro, M., J. Shukla, G. Brunet, C. Nobre, M. Béland, R. Dole, K. Trenberth, R. Anthes, G. Asrar, L. Barrie, P. Bougeault, G. Brasseur, D. Burridge, A. Busalacchi, J. Caughey, D. Chen, J. Church, T. Enomoto, B. Hoskins, Ø. Hov, A. Laing, H. Le Treut, J. Marotzke, G. McBean, G. Meehl, M. Miller, B. Mills, J. Mitchell, M. Moncrieff, T. Nakazawa, H. Olafsson, T. Palmer, D. Parsons, D. Rogers, A. Simmons, A. Troccoli, Z. Toth, L. Uccellini, C. Velden & J.M. Wallace (2010). An Earth-system Prediction Initiative for the 21st Century. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1377–1388.

WMO (2017). *Weather climate water. Catalysing Innovation in weather science: WWRP Implementation plan 2016–2023*, WWRP (2016). *World Weather Research Programme*, World Meteorological Organization, Geneva, 52 p.

WMO (2019). *WMO Strategic plan 2020–2023*. WMO Publication No. 1225, Geneva, 22 p.

- 6 Dette gjelder særlig «no poverty» (SDG nr. 1), «zero hunger» (2), «good health and well-being» (3), «quality education» (4), «clean water and sanitation» (6), «affordable and clean energy» (7), «decent work and economic growth» (8), «industry innovation and infrastructure» (9), «sustainable cities and communities» (11), «responsible production and consumption» (12), «climate action» (13), «life below water» (14), «life on land» (15), «peace, justice and strong institutions» (16) and «partnership for the goals» (17).



Figur 1.1 Illustrasjon av sammenhengene i verdisyklusen «forskning til samfunnsnytte». EPS er forkortelse for Ensemble Prediction System der det tas hensyn til usikkerheten i initial- og randbetingelsene slik at prognosen ikke er deterministisk med bare én realisering av mulig utvikling i vær, klima eller miljø, men gir en statistisk fordeling av mulige utfall. HPC står for superdatamaskinkraft, AI artificial intelligence – kunstig intelligens, data assimilation – data-assimilasjon – er et fagområde som beskriver metoder for å optimalisere initialbetingelsen for en modellprognose slik at den er så nær observasjonene som mulig samtidig som modellens ligningssystem også er i balanse.⁷

1.1.1 Hva karakteriserer utbyttet av «forskning til samfunnsnytte»?

Utbyttet av forskning lar seg ikke måle og veie, selv om det er et krav om det for å kunne sammenligne utbyttet av å investere i forskning med utbyttet av investeringer på andre samfunnsområder. Forskning bygger vitenkapital

⁷ Ruti, P.M., Tarasova, O., Keller, J.H., Carmichael, G., Hov, Ø., Jones, S.C., Terblanche, D., Anderson-Lefale, C., Barros, A.P., Bauer, P., Bouchet, V., Brasseur, G., Brunet, G., DeCola, P., Dike, V., Kane, M.D., Gan, C., Gurney, K.R., Hamburg, S., Hazeleger, W., Jean, M., Johnston, D., Lewis, A., Li, P., Liang, X., Lucarini, V., Lynch, A., Manaenkova, E., Jae-Cheol, N., Ohtake, S., Pinardi, N., Polcher, J., Ritchie, E., Sakya, A.E., Saulo, C., Singhee, A., Sopaheluwakan, A., Steiner, A., Thorpe, A. & Yamaji, M. (2020). Advancing Research for Seamless Earth System Prediction, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(1), E23–E35. Retrieved Mar 28, 2022, from <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/101/1/bams-d-17-0302.1.xml>

som brukt godt er en nødvendig forutsetning for et levende samfunn. «Science for service», eller forskning til samfunnsnytte, kan karakteriseres ved kvalitet, relevans og samfunnsbetydning, til forskjell fra forskning i akademisk forstand der kvaliteten og publiseringen teller, mens senere nytte ikke er en eksplisitt forventning.

Forskning til samfunnsnytte («science for service») innenfor meteorologi, eller i bredere forstand jordsystemet, kan vurderes gjennom

- a) vitenskapelige artikler,
- b) vitenskapelige vurderinger og synteser av temaer som en forskergruppe mener er viktig å få fram, og der det er etterspørsel fra samfunnslivet,
- c) teknologiske innovasjoner, inkludert instrumenter, numeriske modeller, metoder, analyseverktøy, dataforvaltning og interoperable og balanserte jordsystemobservasjoner særlig der det i dag er dårlig dekning og liten eller ingen redundans,
- d) data som forvaltes slik at de er «Findable, Interoperable, Accessible and Reusable (FAIR)»,
- e) nye eller forbedrede eller avanserte tjenester for beslutningstaking enten hos spesialiserte brukere og virksomheter, eller for brede samfunnsgrupper, basert på operasjonelle prognoser for og reanalyser av jordsystemet som helhet eller av en eller flere av dets komponenter, som er hav, is, atmosfære, vann, landjorda, biogeokjemiske sykluser. Dette er også av stor betydning for marine økosystemer og modellering av levende ressurser. Et viktig element her er formålstjenlige måter å formidle tjenester og kunnskap på, slik at brukserfaring kan gi retning og innhold til hva som bør være prioriterte forskningsspørsmål videre,
- f) evne til å gi vitenskapelige råd – fortrinnsvis som «honest broker» i Roger Pielke jr.⁸ forstand: «en som engasjerer seg aktivt med beslutningstakere og samfunnssektorer for å løse spesielle problemer ved å utvikle policy-alternativer»,
- g) en ny generasjon av forskere og forskerutdanning som kobler vitenskap og tjenester og som ved det bidrar til å lukke kunnskaps- og erfaringsgapet som ofte eksisterer mellom forskningsfeltene og praksisfeltene,

8 Pielke, R.A. jr. (2007). *The honest broker. Making sense of science in policy and politics*. Cambridge University Press.

- h) formidling av forskningens resultater og forskningens rolle i komplekse samfunnsspørsmål

Forskning i akademisk forstand måles først og fremst etter punkt a) i listen over, mens de øvrige kriteriene ikke tillegges samme systematiske vekt. Men mange forskere i akademia, ikke minst i slike samfunnsnære fagområder som dem som drøftes i denne artikkelen, beveger seg fram og tilbake mellom forskning av grunnleggende art og forskning som er motivert av anvendelsesmulighetene.⁹

1.1.2 Forskningens frihet

«Forskningens frihet» er en viktig norm i akademia. Hva er akademisk forskningsfrihet, og hva styrer forskningen utenfor universitets- og høyskolesektoren slik som ved Meteorologisk institutt? Er «forskning til samfunnsnytte» forenlig med kravet om «forskningens frihet»?

UNESCO formulerer akademisk frihet som «the right without restriction by prescribed doctrine, to freedom of teaching and discussion, freedom in carrying out research and disseminating and publishing the results thereof, freedom to express freely their opinion about the institution or system in which they work, freedom from institutional censorship and freedom to participate in professional and representative academic bodies».¹⁰

Det er verdt å merke seg at denne beskrivelsen ikke sier noe om «freedom to decide the subject of research», det står «freedom in carrying out research and publish the results» og «freedom from institutional censorship». Altså skal ikke forskeren dikteres metode og i hvert fall ikke konklusjoner. Men de økonomiske og organisatoriske rammene må respekteres og utgjør en begrensning i hvordan forskningen kan utføres.

Dette er noe annet enn det som uttrykkes i den norske loven om universiteter og høyskoler, der det heter i pkt. 5 i § 1-5 at «den som er ansatt i stilling hvor forskning eller faglig eller kunstnerisk utviklingsarbeid inngår

9 Dette er nærmere beskrevet av Narayanamurti, V. & Odumosu, T. (2016). *Cycles of Invention and Discovery*, Harvard University Press, 170 p, og er videre diskutert senere i denne artikkelen.

10 1997 UNESCO Recommendation: <https://en.unesco.org/news/protecting-academic-freedom-relevant-ever>

i arbeidsoppgavene, har rett til å velge emne og metode for sin forskning eller sitt utviklingsarbeid innenfor de rammer som følger av ansettelsesforholdet eller særskilt avtale». Frihet i valg av emne for forskningen er her en nokså eksplisitt rettighet, men denne rettigheten følger ikke av «akademisk frihet» etter UNESCOs formulering, som uttrykker et viktig og universelt prinsipp for forskningen i et demokratisk land.¹¹ Den norske lovformuleringen tolkes av juristen Inger Ørstavik som «frihet fra arbeidsgivers styringsrett», mens daværende stortingsrepresentant Georg Apenes uttrykte at formuleringen «ikke betyr at en forsker kan gjør som han/hun vil på statens bekostning».

Konsekvensen av universitets- og høyskolesektorens tradisjon og praksis er at punktene (b)–(h) over ikke har samme systematiske motivasjonskraft der som i instituttsektoren og som Meteorologisk institutt er en del av. Det er neppe tvil om at dette er en hemsko for utviklingskraften i forskningen på et så samfunnsnært og samfunns viktig fagområde som meteorologi og jordsystemforståelse. Med en aktiv behandling av erfaringsmaterialet som samles i alle deler av verdisyklusen (figur 1.1) av forskere, brukere, formidlere og IT-utviklere, bygges en nysgjerrighetskapende evne som kan betegnes som en «kulturell muliggjøring». Denne evnen har dårligere vekstvilkår innenfor en ramme der pkt. (a) ovenfor tillegges til dels mye større betydning enn de andre kriteriene i listen. En «muliggjørende kultur» kan være vel så viktig som «muliggjørende teknologier», et begrep som har fått stor oppmerksomhet i de senere år,¹² og som brukes både i forskningspolitikken, i næringslivet og i offentlig sektor. Når en «muliggjørende kultur» fungerer og det skapes tillit og gjensidighet på tvers av fagdisipliner og institusjoner, så kan den kanskje best sammenlignes med den fantasi og nysgjerrighet som kunsterisk aktivitet kan utløse? Det er fristende å sitere fra André Bjerkes dikt «Kunstneren», der det bl.a. heter «Skulpturen som fremtvinger form av uformelig masse, er virksom i barnet som leker med sand i en kasse. Ta kunstnerens blick fra et barn, ta formgleden fra det, og se, det vil trå på

11 https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-04-01-15#KAPITTEL_3-4

12 «Muliggjørende teknologier er teknologier som viser seg å bli så gjennomgripende at de fører til store endringer i samfunnet. De gir også grunnlag for mange andre, nye teknologier. Historiske eksempler er trykkekunst, jernbane, dampmaskiner, elektrisitet og moderne masseproduksjon.» Sitat fra Stortingsmelding 7 (2014–2015) Langtidsplan for forskning og høyere utdanning 2015–2024. kapittel 6.1. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/Meld-St-7-20142015/id2005541/?ch=6>

sitt spenn og vil kaste sin spade. Og se, det vil glemme sin lyst og gå under i skygge, og broer og byer og skip vil det ingen gang bygge!». ¹³

Hva er det som utløser motivasjon, vilje, evne og glede til å gå løs på forsknings- og samfunnsoppgaver? Det er ofte ikke først og fremst fordi det foreligger en muligjørende eller industriell teknologi. Minst like viktig er den menneskelige motivasjonen og drivkraften, som er både individuell, gruppebasert og samfunnsdrevet. Hvorfor fungerer én forskningsgruppe mye bedre enn en annen? I et land som Norge henger det sjelden sammen med at den ene gruppen har tilgang til muligjørende teknologi mens den andre ikke har det. Det er heller kulturen som er forskjellig – karakterisert ved graden av tillit, delevilje, raushet, innsatsvilje, etterrettelighet, rettferdighet. Dette er elementer i «muliggjørende kulturer». Teknologien er ikke så mye verdt uten en kultur som motiverer til å ta den i bruk på en måte som skaper merverdi, og som i tillegg kan forbedre den ytterligere. «Muliggjørende kultur» er et viktig verdiskapende element i forskning og utdanning.

Historisk bunner den tilsynelatende motsetningen mellom «forskningens frihet» og «forskning til samfunnsnytte» bl.a. i den innflytelsesrike forskningspolitiske rapporten «Science, the endless frontier», som Vannevar Bush publiserte i juli 1945 på oppdrag fra president Roosevelt. ¹⁴ Her ble det anbefalt å etablere rigide grenser mellom «grunnleggende» kontra «anvendt» forskning, og betydelige ressurser er siden brukt ikke minst i USA for å opprettholde denne grensen – selv når den naturlige tilbøyeligheten til forskere er henimot forskningsaktiviteter som ikke følger denne forenkledde klassifiseringen. ¹⁵

Meteorologisk forskning, miljøforskning og jordsystemforskning generelt arbeider med samfunnsnære problemstillinger, og kravet om at vitenskapen skal gi nyttige resultater er en spore og en inspirasjon, og ikke en hemsko. Forskerlivet er ikke så meningsfylt hvis det vi legger vår energi i, ikke vises noe sted: Da bekrefter det ingen, det berører ingen og det beveger ingen. Det at vitenskapen skal kunne være nyttig, er et nødvendig og positivt krav på systemnivå, summen av manges anstrengelse må over tid komme

13 <https://www.youtube.com/watch?v=Rs2iHi6QEIQ>

14 <https://www.nsf.gov/od/lpa/nsf50/vbush1945.htm>

15 Narayanamurti, V. & Odumosu, T. (2016). *Cycles of Invention and Discovery*, Harvard University Press, 170 p., side 10.

noe eller noen til gode. På individnivå er perspektivet annerledes. Hvis vi ser på Vigelands monument over Nils Henrik Abel på Abelhaugen ved Slottet i Oslo, så er Abel fremstilt symbolsk, som konsentrert, avkledd, senete, full av kraft, pliktfølelse og nødvendighet, båret fram av ideer, tanker, inspirasjon og nysgjerrighet – forskerindividet må våkne og vie sin energi, i lette og vanskelige tider, til en visjon som bidrar til det felles beste.

1.1.3 Om å «ta og beherske territorier»

Klimautviklingen er et stort samfunnsproblem og -spørsmål. Samfunns- og brukerinformert forskning er avgjørende for at klimapolitikken skal være kunnskapsbasert. Innretning av klimaforskningen og realisering av dens brede samfunnsbetydning krever et komplekst samspill over tid mellom forskning, publisering, forskningspolitikk, anvendelse av resultater i forvaltning og næringsliv, formidling i allmennheten, og organisering og organisasjoner nasjonalt og internasjonalt. Dette samspillet krever at forskere, forvaltning og politikere i hovedtrekk har en felles situasjonsforståelse. Intellektuelle, organisatoriske, politiske og økonomiske ressurser må mobiliseres på en felles arena og holdes der over tid til det er kommet til en ordning av de samfunnsmessige utfordringene. Dette krever ledelse både av politikken og forskningen.

Dette kan karakteriseres som å etablere, ta og beherske territorier. I klimaspørsmålet gjorde for eksempel svenske myndigheter og med professor Bert Bolin ved Meteorologiska institutionen ved Stockholms universitet (MISU) i spissen en innsats ved å «ta territoriet» fra 1972 og framover til Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) var etablert med Bert Bolin som den første lederen.

Meteorologisk institutts direktør Ragnar Fjørtoft var en ivrig forkjemper for Global Atmospheric Research Program (GARP) fra tidlig på 1970-tallet,¹⁶ men han tok ikke rollen som en samlende skikkelse. Han var mer en faglig sterk outsider, som er en viktig rolle når spørsmål og spennvidde i problemstillingene som det fokuseres på, er uavklarte.

Sett fra et «ta og beherske territoriet»-perspektiv så er det lett å argumentere for at Vilhelm Bjerknes hadde en slik rolle i Bergenskolen for vær-

16 Se nærmere beskrivelse i artikkelen om «Norges vei til medlemskap i ECMWF».

varsling etter første verdenskrig, og Einar Høiland i utviklingen av geofysisk hydrodynamikk på 1950-tallet. Ivar Isaksen fulgte etter Eigil Hesstvedt og «tok og behersket territoriet» i ozonlagsforskningen på 1980-tallet. Brynjulf Ottar gjorde det samme i sur-nedbør-forskningen nasjonalt og internasjonalt gjennom Nordforsk,¹⁷ OECD og etableringen av EMEP¹⁸ på 1970-tallet, mens Anton Eliassen tok denne rollen i EMEP-arbeidet og utviklingen av Konvensjonen for langtransporte luftforurensninger (CLRTAP) på 1980- og 1990-tallet. Anton Eliassen utviklet denne rollen også når det gjaldt endringen i datapolitikken på værområdet fra tidlig på 2000-tallet og framover, fra en situasjon der mange lands myndigheter og meteorologiske institutter gikk i retning av å mene at værinformasjon er en «vare» og et slags «privat gode» som kan selges for stykkpris og derigjennom finansiere arbeidet med å utarbeide værtjenestene, til en situasjon med en felles forståelse av at vær- og miljøinformasjon først realiserer sin samfunnsbetydning ved å anerkjennes som et «offentlig gode».

Andre eksempler på å «ta og beherske territorier» er Alf Nyberg ved SMHI i ECMWF-spørsmålet på 1970-tallet, Trond Iversen i etableringen av nasjonal klimaforskning på tvers av institusjoner og disipliner gjennom RegClim i årene rundt 2000, Øystein Hov i etableringen av europeiske programmer for atmosfærekjemisk forskning gjennom EU-kommisjonen på 1990-tallet og Lars-Otto Reiersens rolle i AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme) under Arktisk råd fra slutten av 1980-tallet og framover.

Det å ta og beherske et territorium kan sammenlignes med å lede en nettverksbygging med en klar hensikt. Arbeidet er ikke linjestyrt, men baserer seg på faglig og personlig tillit. I tradisjonelle, linjestyrte organisasjoner, slik som Meteorologisk institutt i stor grad var fram til årtusenskiftet, var det for eksempel direktørene som deltok i internasjonalt samarbeid, mens RegClim-prosjektet er et eksempel på begynnende nettverksorganisering. Å ta

-
- 17 Nordforsk var et samarbeidsorgan for den teknisk-naturvitenskapelige forskning i de nordiske land etablert i 1947 for å dekke behovet for kontakter over de nordiske grensene. Norges teknisk-naturvitenskapelig forskningsråd, NTNF, hadde ansvaret for det norske bidraget til Nordforsk.
- 18 European monitoring and evaluation programme, EMEP, er forskningsprosjektet som støtter policy-arbeidet for å redusere europeiske forurensningsutslipp til atmosfæren gjennom Convention on Long-range Transport of Air Pollutants, CLRTAP, under UN Economic Commission for Europe, UNECE.

og beherske et territorium krever andre lederegenskaper enn i tradisjonell linjeledelse. Erfaringen her er at en kombinasjon av faglig styrke og gode altruistiske egenskaper er en forutsetning for å lykkes med å ta og beherske et territorium.

1.1.4 Operasjonell infrastruktur bør også være forskningsinfrastruktur

Det er verdt å merke seg at det finnes gode eksempler på realisering av verdisyklus-tankegangen illustrert i figur 1.1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), se artikkelen «Veien til norsk medlemskap i ECMWF», har lyktes i å integrere forskning og operasjonell værvarsling og værtjenesteutvikling, og med utvidelser særlig til biogeo-kjemiske kretsløp, klima og havvarsling (Copernicus Atmospheric Services CAMS, Copernicus Climate Change Services C3S, og Copernicus Marine Service CMEMS¹⁹). ECMWF er først og fremst en brukerinformert og forskningsdrevet infrastruktur med et operasjonelt siktemål som er styrende for virksomheten, som i kortversjon består i å beregne prognoser fire ganger i døgnet av globale værvarsler for de neste ti dagene. Til nå har disse prognosene til enhver tid – 24/7/365 – vært av verdensledende kvalitet. Infrastrukturen utvikles, støttes og drives av en dedikert internasjonal organisasjon. Den fungerer også som en forskningsinfrastruktur på daglig basis for egen forskning og forskning ved de meteorologiske instituttene i landene som er medlem av ECMWF-konvensjonen, og i økende grad også gjennom gode relasjoner med partnere i omkringliggende akademier. Dette er en vesentlig utvikling, ettersom det trekker forskningsmiljøene inn i samlingen av erfaring, kunnskap og utfordringer som bygges opp gjennom tjenesteytingen og gjennom den operative bruken av informasjon. ECMWF har bidratt vesentlig til utviklingen og anvendelsen av dataassimilering, metodikk for ensembleberegninger, prosessbeskrivelser og jordsystemkobling. Det skjer gjennom en forskningdrevet og brukerinformert kombinasjon av modellering, observasjoner, datahåndtering og tungregning.

19 <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicus-atmosphere-monitoring-service>, <https://www.ecmwf.int/en/about/what-we-do/environmental-services/copernicus-climate-change-service>, <https://marine.copernicus.eu/>

Lokalt i Norge har Meteorologisk institutt organisert videreutviklingen av værtjenesten på en tilsvarende måte gjennom Senter for utvikling av værtjenesten ledet av Jørn Kristiansen. Senteret har lyktes med å bli en viktig bidragsyter i nordisk og europeisk forskning, i organisering og anvendelse av datastrømmer fra observasjoner og modellberegninger, i utvikling og drift av felles numeriske værprognosemodeller og i tjenesteutvikling og -leveranser. Forskere, IT-utviklere og statsmeteorologer med ansvar for den daglige værtjenesten har fått et samlet miljø og et felles mål – å redusere værrelatert samfunnsrisiko og med Yr.no som en viktig formidlingskanal. Realiseringen av en slik felles tankegang på tvers av mange kategorier ansatte har gitt en betydelig gevinst i kvalitet, omfang og ressursbruk, og åpnet for nye muligheter som f.eks. utvikling og operasjonell drift av en spesialisert værvarslingsmodell for den norske delen av Arktis («AROME-Arctic»), der ikke minst modelleringen av sjøis er bragt et stort skritt videre.^{20 21} Å få fram en felles tankegang, et samlet miljø og et felles mål har i praksis fungert som en «kulturell muliggjøring» som var nødvendig for å sette Vilhelm Bjerknes' erkjennelse av at værvarsling er et initialverdiproblem i klassisk fysikk ut i livet. Nå varsles været uten subjektive vurderinger fra meteorologen på vakt. Dette er resultat av et frivillig, konstruktivt og langsiktig samarbeid mellom enkeltpersoner med forskjellig faglig bakgrunn og med et felles mål om å oppnå noe alle har nytte av. Som det framgår av artikkelen i denne boken om numerisk værvarsling, så har nordmenn gitt gode bidrag til denne viktige historien. Meteorologen på vakt kan nå i stor grad konsentrere seg om værvarselets samfunnsmessige konsekvenser.

For eksempel i fornybar energiutvikling er det ganske opplagt at det vil være av stor betydning å få en infrastruktur for forskning, utvikling og planlegging som er nært koblet til den beste operasjonelle meteorolo-

20 Se f.eks. <https://forskning.no/meteorologi-meteorologisk-institutt-partner/derfor-bli-vaervarselet-aldri-perfekt/1639872>

21 AROME Arctic-utviklingen har funnet sted ikke minst i det nasjonale prosjektet Arven etter Nansen, og i det internasjonale polare samarbeidet som ble utviklet gjennom Polar Prediction Project i regi av WMO og der forsker og leder av Senter for utvikling av værtjenesten, Jørn Kristiansen, var medlem av styringsgruppen. Se også Batrak, Y., E. Kourzeneva & M. Homleid (2018). Implementation of a simple thermodynamic sea ice scheme, SICE version 1.0-38h1, within the ALADIN-HIRLAM numerical weather prediction system version 38h1.1. *Geosci. Model Dev.*, 11, 3347–3368, <https://doi.org/10.5194/gmd-11-3347-2018>

giske infrastrukturen. Denne problemstillingen er imidlertid ikke gjenstand for diskusjon eller oppmerksomhet i dag, kanskje fordi den berører «forskningens frihet». Men det er grunn til å tro at forskningsinfrastruktur på områder med stor samfunnsrelevans og -nærhet vil kunne kaste mer av seg både forskningsmessig og samfunnmessig – og indirekte økonomisk – om det var forpliktende koblinger til en operasjonell infrastruktur av høy kvalitet og betydning. Det teller også med i en slik sammenheng at viktige operasjonelle infrastrukturer gjerne har en langsiktig finansiering. Erfaringen ved Meteorologisk institutt tilsier dessuten at en operasjonell infrastruktur som leverer data og informasjon av høy kvalitet og med en datapolitikk som tilfredsstillende FAIR-kriteriene, kan etter hvert også tiltrekke seg observasjoner fra privat sektor og som tradisjonelt kan ha hatt begrenset distribusjon, og derigjennom øker kvaliteten på data og informasjon ytterligere.

Denne analysen og argumentasjonen er for øvrig ikke fremtredende i Forskningsrådets forskningsinfrastrukturstrategi,²² og heller ikke i European Strategy for Research Infrastructure (ESFRI), som EU-kommisjonen støtter, der målet er å etablere rene forskningsinfrastrukturer uten at det legges særlig vekt på anvendelsesmuligheter i operasjonelle rutiner. Nyten og avkastningen av slik infrastruktur i tjenesteytingssammenheng vil da som regel være mer tilfeldig og begrenset, selv om den måtte være samfunnsnær og samfunnsrelevant. Det er gode eksempler fra andre fagområder på sammenfallende eller overlappende forskningsinfrastruktur og operasjonell infrastruktur, slik som i klinisk medisin, der f.eks. MR- og CT-maskiner på universitetssykehusene ofte brukes både i forskning og i klinisk behandling, og forskningen er knyttet til behandling. Her er det behov for erfaringsoverføring fra medisin til jordsystemforskning og tilknyttede tjenester.

I Copernicusprogrammet, som er bygget opp i et samarbeid mellom EU-kommisjonen og European Space Agency (ESA) siden slutten av 1990-tallet, er det et sammenfall av operasjonell og forskningsorientert infrastruktur,²³ og der hovedformålet er «Looking at the planet and its environment for the benefit of Europe's citizens». Tjenestedelen i Copernicusprogrammet

22 https://www.forskingsradet.no/siteassets/sok-om-finansiering/nasjonal_strateg_for_forskning-sinfrastruktur20182025.pdf

23 copernicus.eu/en

er konsentrert om brukerinformerte og forskningsbaserte tjenester knyttet til atmosfæremiljø, hav, landjord, klima, ekstremisituasjoner og samfunnsikkerhet. Datagrunnlaget for tjenestene forsterkes gjennom en ny generasjon med satellittbaserte observasjoner, der EU-kommisjonen finansierer byggingen av seks typer satellitter i det som benevnes Sentinel-familien. Syv Sentinel-satellitter er operative nå (oktober 2022).²⁴

Viktige trekk ved Copernicus er samarbeid mellom institusjoner og land om å realisere en felles og varig målsetting om å redusere samfunnsrisiko. Dette gjøres bl.a. gjennom arbeidsdeling knyttet til metodisk kapasitet innen observasjoner, modellering, produksjon, dataflyt og -forvaltning, tjenesteyting, og dialog og erfaringsutveksling med anvendte sektorer. Partene konsentrerer seg om det de har spesialkompetanse på. På denne måten øker forutsetningene for å dekke et saksfelts fulle bredde og dybde både med hensyn til forskning og tjenesteyting, og det blir gjort innenfor eksisterende organisatoriske strukturer uten å etablere nye institusjoner.

Dette tankesettet er nært beslektet med SAK – samarbeid, arbeidsdeling og konsentrasjon – som regjeringen Stoltenberg lanserte som et fornyende virkemiddel ikke minst i norsk forsknings- og utdanningssektor rundt 2010²⁵ for å vinne framgang i forskning, politikktutvikling, økonomi og risikoreduksjon i komplekse spørsmål der mange institusjoner og styringslinjer er involvert. Aktuelle eksempler er klimaspørsmålet, forvaltningen av landarealer og biodiversitet, havforvaltning, vannressursforvaltning og energiforsyningen. Det nasjonale forskningsprogrammet Arven etter Nansen²⁶ ble planlagt som et SAK-prosjekt. Meteorologisk institutt har viktige roller i Arven etter Nansen og i deler av Copernicussamarbeidet (hav i samarbeid med Havforskningsinstituttet og Nansensenteret i Bergen, og i atmosfære- og klimadelene).

Når forskningsinnsatsen kretser omkring den samme infrastrukturen og verdikjeden som leverer instituttets tjenester, fremmes evnen til å drive innovasjon. I boken *Cycles of Invention and Discovery* beskrives dette ut fra

24 <https://www.romsenter.no/no/Fagomraader/Jordobservasjon2/Dette-er-Copernicus>,
<https://www.copernicus.eu/en>

25 <https://www.fpol.no/politikk-for-samarbeid-arbeidsdeling-og-konsentrasjon-i-hoyere-utdanning-status-i-norge-i-lys-av-erfaringer-fra-sverige-og-finland/>

26 <https://arvenetternansen.com/nb/arven-etter-nansen/>

erfaringene Narayanamurti og Odumosu gjorde seg ved Bell Laboratories i New Jersey og ved MIT i Boston. De sier at «having a goal and a well-defined mission (as the industrial laboratories in the United States all had) catalyzes research that leads to both inventions and discoveries»,²⁷ og de gir mange eksempler. Evnen til å drive innovasjon fostres når barrieren mellom forskning og anvendelser er overkommelig. Flere eksempler på innovasjon som har involvert Meteorologisk institutt, er gitt i artiklene i denne boken. Innovasjon kan finne sted når en kompetent bruker møter en ekspert i forskningen på like fot og over tid.

1.1.5 Dataforvaltning

Dataforvaltningen er et kritisk element for at verdisyklusen i vær- og jord-systemvarsling og -forskning skal fungere (figur 1.1). Én ting er nødvendigheten av å ha felles standarder og regler nasjonalt og internasjonalt, noe annet er at reglene formuleres slik at dataenes samfunnsmessige verdi optimaliseres.

Den internasjonale utviklingen i meteorologi gjennom WMOs programmer World Weather Watch (WWW) og Global Atmospheric Research Programme (GARP), som begge startet på 1960-tallet, førte til at værvarslenes kvalitet økte, og de økonomiske gevinstene fra værvarsling og meteorologiske data ble tydeligere. Dette førte til at nasjonale myndigheter i en del land påla sine værtjenester å søke inntekter fra sine data og tjenester («cost recovery») i stedet for å utveksle dem fritt, og i enkelte land ble dette lovpålagt, slik som i Tyskland. Fra den norske regjeringen ble det bare tatt innledende skritt i denne retningen. Denne utviklingen kunne ha ført til en oppløsning av den internasjonale datautvekslingen som var en forutsetning for suksessen i værvarslingen, og som var regulert gjennom resolusjoner vedtatt av WMOs høyeste organ, kongressen, der alle medlemsland og -territorier har stemmerett (193 per 2022). Det oppstod usikkerhet om den videre utviklingen av værvarslere og andre miljøanalyser, men WMO lyktes i 1995 å få medlemmene med på en forpliktelse om fri og ubegrenset internasjonal utveksling av de viktigste meteorologiske data og produkter, inkludert ret-

27 Ibid. p. 66.

ningslinjer om forholdet til kommersiell meteorologi.²⁸ Tilsvarende resolusjoner er siden vedtatt om hydrologiske data og klimadata.

Meteorologisk institutt og instituttets direktør Anton Eliassen tok ledelsen nasjonalt og internasjonalt i utviklingen av datapolitikken ved å erklære alle norske værobservasjoner og værvarsler med alle punktvarsler og modell-data, som gratis og fritt tilgjengelige i digital form i 2007.²⁹ All erfaring tilsa at værdata er et offentlig gode, ikke et privat gode, og at samfunnsverdien av informasjonen ville bli betydelig større ved å avholde seg fra betalingskrav tidlig i verdikjeden. Dette åpnet for etableringen av Yr.no som formidlingstjeneste både av meteorologiske data og av norske og globale værvarsler, og den frie datapolitikken gir næringslivet og alle andre mulighet til å laste ned data fra Meteorologisk institutt og benytte dem i egne løsninger og produkter. Denne nedlastningstjenesten er blitt en stor suksess nasjonalt og internasjonalt, med ringvirkninger i fattigdomsbekjempelsen i mange utviklingsland.³⁰ Det er i adgangen til fri nedlasting av alle data at verdiskapingen knyttet til frie data først og fremst ligger.

Denne vendingen i datapolitikken som ble satt i gang fra Meteorologisk institutt, skapte turbulens i det internasjonale meteorologiske samarbeidet, der betalingskrav for meteorologisk informasjon var på vei inn i mange land. Men det ble etter hvert klart at for å kunne ivareta det økende samfunnsansvaret knyttet til meteorologi i bred forstand (klima, miljø, hav, vann, isdekke, romvær; i bredere forstand både energi- og matforsyning, transport til lands, sjøs og i luften, trådløse kommunikasjonssystemer inkl. navigasjon, vannforvaltning, samfunnsrisiko ved ekstremvær) så var det avgjørende å utvikle den internasjonale ordningen for utveksling av data, og basere vesentlige deler av den på fri flyt av data under nærmere avtalte vilkår.

28 World Meteorological Congress Cg XII Resolusjon 40, 1995.

29 Formelt skjedde dette i et brev til Verdens meteorologiorganisasjon fra Norges faste representant i organisasjonen av 5. januar 2007 (met.no-referanse 07/29/063.10): «I am pleased to inform you that all Norwegian synoptic data are to be considered as essential in the meaning of WMO Resolution 40, consequently there will be no additional data from Norway any longer. Would you therefore please delete the list of Norwegian additional data published on your web under OIS, with immediate effect.» (OIS: Operational Information Service WMO, «additional data» betyr andre data enn dem som er definert som «essential»).

30 Ikke minst ved å kunne laste ned lokale værvarsler og data via mobiltelefon.

Dette arbeidet førte fram til en ny WMO-resolusjon som ble vedtatt som Resolusjon 1 på WMOs ekstraordinære kongress i 2021, «WMO Unified data policy».³¹ Det siteres fra denne:

The WMO community started seeking to expand its data exchange to areas beyond weather, climate and water data to include domains such as atmospheric composition, oceanography, cryosphere and space weather. At the same time, the WMO community recognized that the critical importance of ensuring reliable, robust and equitable access to weather, climate and water data for all nations, rich and poor, was making it necessary to review and update WMO's data policy.

(The 2021 extraordinary WMO Congress) «agrees to have one unified data policy for all WMO domains and disciplines; Decides that the scope of the data policy shall cover Earth system data exchanged among Members under the auspices of the WMO Convention and the decisions of the World Meteorological Congress», ... «adopts the following policy on the international exchange of Earth system data: As a fundamental principle of WMO and in consonance with the expanding requirements for its scientific and technical expertise, WMO commits itself to broadening and enhancing the free and unrestricted international exchange of Earth system data; further agrees that Members³² should provide without charge access to all recommended data exchanged under the auspices of WMO to public research and education communities for their non-commercial activities; Encourages all users of Earth system data to honour reasonable requests for the attribution of input data wherever possible».

Selv om manglende oppfølging av vedtak i FN-systemet sjelden utløser sanksjoner, så er likevel denne resolusjonen av vesentlig betydning for evnen til å utføre «forskning til samfunnsnytte» i meteorologi i bred forstand, og den tidlige reverseringen av den norske værdatapolitikken var et viktig bidrag i erfaringsgrunnlaget som måtte etableres før arbeidet med resolusjonen startet.

31 WMO Extraordinary Congress 2021, Resolution 1, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11256

32 Members med stor M i WMO-tekster indikerer en medlemslandsforpliktelse.

WMOs «Unified data policy»-resolusjon legger til rette for den internasjonale forvaltningen av jordsystemdata. Viktige punkter er standardiseringen av metadata-vokubalaret³³ på tvers av fagområder og disipliner, global søkbarhet i alle metadata slik at det er mulig å få en oversikt over hva som er tilgjengelig av data og på hvilke vilkår, fysisk datalagring hos dataeier og interoperabilitet mellom observasjonssystemene slik at dataforvaltningen fostrer forskning med et bredt jordsystemperspektiv snarere enn å avgrense slike utviklingsmuligheter.³⁴

1.1.6 Formidling. Eksemplet yr.no

Formidlingskanalene er av avgjørende betydning for en velfungerende verdisyklus (figur 1.1). Yr.no har en stor plass i dette bildet. NRK har tradisjonelt hatt hovedkanalene for Meteorologisk institutts formidling av værvarslene. Yr.no ble etablert i denne tradisjonen som et samarbeid mellom Meteorologisk institutt og NRK. Det kan være grunn til å gå litt nærmere inn på tankegangen som lå til grunn for etableringen av yr.no som et samarbeid med NRK.

Det er her nærliggende å basere dette på en kronikk som ble skrevet av Anton Eliassen, Meteorologisk institutts direktør, og Linda Orvedal, førsteamanuensis ved Norges Handelshøyskole, tidligere sjeføkonom i Konkurransetilsynet og medlem av styret for Meteorologisk institutt 2007–2014. Denne kronikken ble publisert i Dagens Næringsliv 12. januar 2014, og selv om den ble skrevet i en bestemt politisk kontekst der regjeringen tenkte på å vurdere å regulere NRKs mulighet til å være vertskap for nettjenesten yr.no, så inneholder den en rekke tidsuavhengige, prinsipielle vurderinger av relevans for diskusjonen av resultatformidlingens betydning i «forskning til samfunnsnytte».

33 Metadata er «data om data», f.eks. parameternavn, observasjonstidspunkt og -sted, instrumentering, kvalitetsprosedyrer, eier, lagringssted, betingelser for tilgang, formatering osv.

34 Forsker Øystein Godøy ved Meteorologisk institutt har gitt viktige bidrag nasjonalt og internasjonalt til denne utviklingen som ikke minst skjøt fart i løpet av det internasjonale polaråret (The International Polar Year IPY 2007–2008), se Godøy, Ø. (2011). Felles datahåndtering – visjon og virkelighet, s. 36–38 i Polaråret 2007–2008, det norske bidraget (2011). Olav Orheim og Kristen Ulstein (red.). Norges forskningsråd, 192 s.

Yr.no ut med badevannet?

Meteorologisk institutt (MET) følger debatten rundt NRKs framtid og den bebudede NRK-meldingen med interesse. I januar i fjor antydet statsråd Thorild Widvey at hun var usikker på om NRK skulle yte værtjenester på nettet. Tjenesten har vakt debatt i medie-Norge, det argumenteres bl.a. for at NRKs mandat bør avgrenses til områder som det kommersielle markedet ikke selv ivaretar, og at NRK bør holde seg til radio og TV. Vi antar derfor at Yr er med i utredningen.

Nettjenesten Yr er et samarbeid mellom MET og NRK. Men Yr er også Meteorologisk institutts viktigste kanal for å nå ut til befolkningen med sine værvarsler. Tjenesten har altså andre kvaliteter enn hva debatten så langt har fått fram, og er derfor for viktig til å bli diskutert kun fra et medieperspektiv.

Vi skal avholde oss fra å mene noe om et fremtidig NRK – med unntak av én oppfordring, som herved går til statsråd Torhild Widvey og regjeringen: Ikke la Yr være en del av utredningen! Se verdien av en detaljert værvarsling for Norge som en egen sak, uten å skjele til spørsmålet om hva NRK skal gjøre eller ikke gjøre!

Vi fastslår: Værvarsling er dyrt. Innsamling og analyse av værdata er så kostbart at ingen andre enn staten – dvs. du og jeg – er villig til å ta kostnaden. Det ligger ingen inntjening i å drive en værradar eller en vindmåler. Det man eventuelt kunne tjene penger på, er å formidle værvarslene sammen med reklame.

Vårt utgangspunkt: En værmelding har ingen verdi før den er mottatt og forstått av brukerne. En værmelding har stor betydning i et samfunn. Noen ganger kan den handle om liv og død, andre ganger om å hindre tap av verdier. MET har gjennom samfunnsoppdraget et særlig ansvar for å varsle det farlige været. Derfor er det særdeles viktig at værvarslene fra MET ikke bare er så korrekte som mulig, men også at de formidles på en profesjonell måte. Og fordi innholdet kan ha en avgjørende betydning for mottakeren, setter MET et absolutt krav til at tjenesten skal være reklamefri. Reklame drar oppmerksomhet vekk fra viktige budskap. Reklame bidrar til å gi budskap et «lettere» og mindre offisielt preg. Har regjeringen noen gang vurdert å ha reklame på regjeringen.no? Hvorfor ikke, i så fall? Svaret er mest sannsynlig at i Norge serverer vi ikke offisielle budskap fra staten sammen med reklame. Værvarsler fra MET er et budskap

fra staten. I et slikt perspektiv antok Meteorologisk institutt (naivt?) at et samarbeid om formidling av værvarsler ikke ville vekke interesse hos en mediebransje som trenger hver krone den kan drive inn.

Kunne MET ta formidlingsjobben selv? Hvorfor skape splid i det norske medielandskapet ved å velge ut én medieaktør og gi oppdraget til denne? Svaret er så prosaisk som at MET for det meste består av naturvitere; geofysikere, matematikere, og en og annen doktor i kjemi. Her er ingen interaksjonsdesignere, grafiske designere, brukertestingsmiljøer eller pedagoger. Når staten bevilger rundt 280 millioner kroner til værvarslingsformål, har MET gått ut fra at staten ønsker at pengene skal brukes best mulig på alle måter. Hvorfor skulle instituttet benytte ressursene til å ansatte egne mediefolk, når staten allerede har huset fullt nede på Marienlyst?

Må MET samarbeide med NRK for å greie dette? Svaret her er nei, men et mediemiljø med kompetanse på moderne formidling må til – så framtidig målet er å få værvarslene spredt og forstått. Et mediemiljø med muskler og vilje til å drive et kontinuerlig forbedringsarbeid, uten å få så mye som én reklamekrone igjen for det.

Kan man tenke seg at de nødvendige ressursene tilføres MET, slik at instituttet tar hele jobben selv? Ja, det er fullt mulig, men da må man igjen vurdere hva slags kompetanse MET skal holde seg med, og samtidig gjøre en vurdering av hva slags fagmiljø instituttet har å tilby disse medarbeiderne.

Hva er det å tjene på en eventuell oppløsning av Yr-samarbeidet? Det følger ingen pengestrøm med Yr, bare utgifter og arbeid, for den som eventuelt vinner oppdraget. De virkelige pengene som genereres via Yr, skriver seg fra den frie datapolitikken til Meteorologisk institutt. Den frie datapolitikken gir næringslivet mulighet til å laste ned data fra bl.a. `api.met.no` eller `api.yr.no`, og benytte dem inn i egne løsninger og egne produkter. I dag foretas det samlet rundt hundre millioner nedlastninger fra alle METs api-er, hvert døgn. Dette forteller oss at det er her pengene ligger, ikke i at muligheten for å drifte Yrs frontend får gå på rundgang mellom norske mediebedrifter.

Vi vil til slutt påpeke at Meteorologisk institutt har gjort alt regjeringen har bedt om når det gjelder norsk datapolitikk. Instituttet har sørget for distribusjon av informasjon i et maskinlesbart format, som er tilrettelagt

for viderebruk, bl.a. gjennom en kanal som alle kjenner til. At værvars-lene spres og per i dag når «hele» Norge, og at dataene viser seg å være nyttige for så mange og til så mange formål, sier oss at Yr er for viktig til å utgjøre en liten snipp av den omfattende NRK-meldingen. Yr er en egen sak; kanskje noe av det mest vellykkede staten har foretatt seg i de senere år. Ikke hell barnet ut med badevannet!

Det at meteorologiske data fra Meteorologisk institutt ble gjort frie i 2007, muliggjorde yr.no. Instituttet forstod også at en god internettløsning var nødvendig i formidlingen. Men betydningen av yr.no i formidlingen av værvarsler og av frie data, og tilbakekoblingen til forskningen, ble større enn det noen hadde trodd på forhånd. Kronikken over syv år etter at datapolitikken ble snudd i 2007 bygger på disse erfaringene.

1.1.7 Samarbeid, arbeidsdeling og konsentrasjon i forskning, tjenesteyting og samfunnsnytte i jordsystemsammenheng

«Forskning til samfunnsnytte» forutsetter at skrankene reduseres mellom forskning og anvendelse, mellom institusjoner, mellom disipliner og mellom organisasjoner.

I artikkelen om framveksten av nasjonal klimaforskning går det fram at det som tradisjonelt var faglige «fragmenter» ved en lang rekke forskningsinstitusjoner, mer og mer har vokst sammen i en evne som kan kalles (nasjonal) klimaforskning, og som er fremtidsrettet fordi evnen til å svare på dagsaktuelle spørsmål om klima, øker. Dette er ikke en prestasjon som kan tilskrives én institusjon, det er snarere et resultatet av mange impulser og bidrag på tvers av disipliner, institusjoner og landegrenser, og som gode fagledere har trukket i en retning som er samlende.

Tilsvarende muligheter og utfordringer finnes for de meteorologiske aspektene ved forvaltningen av ressurser og miljø knyttet til klima, energiforsyning, naturmangfold, og kan omfatte atmosfæren, hav, ferskvann og landarealer. Gjennom samarbeid, arbeidsdeling og konsentrasjon mellom institusjoner (SAK) kan og bør farbare veier etableres til en samfunnsnyttig konvergens i forskningen her. Som nevnt over lanserte regjeringen Stoltenberg SAK som et fornyende virkemiddel ikke minst i forsknings-

og utdanningssektoren rundt 2010³⁵ for å vinne framgang i forskning, politikkutvikling, økonomi og risikoreduksjon i komplekse spørsmål der mange institusjoner og styringslinjer må involveres.

«Forskning til samfunnsnytte» er en vesentlig drivkraft i EUs forskningsprogrammer, ikke minst knyttet til hav, klima, helse, vann og miljø, og der kravet til verdisyklustankegang er omfattende. Historisk har det internasjonale engasjementet hatt stor betydning for meteorologirelatert forskning i Norge, slik som innenfor sur nedbør, luftforurensning og helse, ozonlagsreduksjon og klima. I mange tilfeller har forskningen vært av stor samfunnsnytte, og har vært drevet av behovene for ekspertrådgivning i policy-prosesser, der enkeltpersoner har tatt rollen som «honest broker» i Roger Pielke jr.s³⁶ forstand: «... en som engasjerer seg aktivt med beslutningstakere og samfunnssektorer for å løse spesielle problemer ved å utvikle policy-alternativer».

1.1.8 Verden er langt inne i klimaforandringene

På klimaområdet er Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) og United Nations Framework Convention for Climate Change (UNFCCC) mellomstatlige slik som WMO er, men her er det regjeringene og det politisk oppnevnte klimadiplomatiet som sitter i førersetet. Dette skulle en tro skulle være en sterk konstruksjon for å kunne påvirke politikk og samfunnsutvikling, men det har vist seg at klimaspørsmålet er så sammensatt at vi i praksis er dårligere stilt på klimaområdet i dag enn i 1988 da IPCC hadde sitt første møte i Genève. Dette kan underbygges med noen nøkkeltall: Global populasjon var 5,5 milliarder i 1990, 7,8 milliarder i 2020; CO₂-utslippene var 22 GtCO₂ 1990, 35 GtCO₂ 2020, dvs. 4 tCO₂/person i 1990, 4,5 tCO₂/person i 2020. I 1990 var utslippsfordelingen ca. 55 % og 45 % mellom OECD-landene og resten av verden, i dag er dette forholdet svært annerledes (32 %

35 <https://www.fpol.no/politikk-for-samarbeid-arbeidsdeling-og-konsentrasjon-i-hoyere-utdanning-status-i-norge-i-lys-av-erfaringer-fra-sverige-og-finland/>

36 Pielke, R.A. Jr. (2007). *The honest broker. Making sense of science in policy and politics*. Cambridge University Press. Det kan diskuteres om «honest broker» er den beste betegelsen siden den indirekte sier at andre former for vitenskapsbasert rådgivning kan være «dishonest» eller preges av en svakere form for «honesty». «Science broker» er en mer verdinøytral betegnelse og er å foretrekke.

og 68 %).³⁷ Dette skyldes ikke at OECD har redusert sine utslipp noe særlig, men at industrien er lagt ned i Vesten og flyttet til Asia og først og fremst til Kina, og så importeres CO₂ bygget inn i industriproduktene, tilbake til Vesten. I Kina er 65 % av CO₂-utslippene fra industri,³⁸ i Storbritannia, verdens første industristormakt, er dette tallet sunket til 17 %.

Globalt kommer 70–80 % av CO₂-utslippene fra energiproduksjon, som må gjøres CO₂-fri og fremdeles sørge for at kloden årlig har 162 000 TWh til rådighet, som er energiproduksjonen og forbruket nå.³⁹ Det globale folketallet øker fortsatt, samtidig som store folkegrupper må løftes ut av fattigdom. I så henseende kan det argumenteres for at det er et globalt underforbruk av energi.⁴⁰ En hærsikare av klimaforskere og klimadiplomater har levd hele sitt profesjonelle liv (1988–2022) i denne situasjonen som i realiteten er blitt verre og verre. Samtidig har inntrykket vært at «når vi bare får neste rapport fra IPCC, så vil alle bli overbevist» – og underforstått, løftene som avgis i kampens hete, vil bli holdt og de nødvendige tiltakene vil bli gjennomført. Under de årlige Conference of the Parties (COP)-møtene holder verden pusten i påvente av store gjennombrudd eller fiasko, mange land lover stadig sterkere tiltak, et inntrykk av at «dette ordner seg» sprer seg. Samtidig med tiltagende klimaendringer vokser til dels overlappende, alvorlige problemstillinger, jf. biodiversitets- og arealforvaltningsdiskusjonen. Mat- og vannforsyningen er også nær tilknyttet.

Det er fristende å si at vi i dag har en stabil symbiose mellom en stor «klimaforskningsindustri» og en «klimadiplomatiindustri» der disse to «industriene» vokser, er godt finansiert, og lever i gjensidig balanse, den ene er en forutsetning for den andre, og dette har vart i over 30 år. Samtidig vokser konsekvensene av at klimaforandringene «løper fra» tiltakene, og det sprer seg usikkerhet om en demokratisk styreform med folkelig medbestemmelse egner seg når klimaproblemet skal «løses». Jon Naustdalslid⁴¹ argu-

37 Kinas utslipp alene var omtrent det samme som OECD-landenes i 2020, mens det var knapt 20 % av OECD-landenes i 1990, <https://data.oecd.org/air/air-and-ghg-emissions.htm>

38 Data: Our World in Data, Eurostat, Statista, 2019.2017.

39 IEA Net Zero by 2050. A roadmap for the global energy sector. 2021. https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapforthe-GlobalEnergySector_CORR.pdf

40 Naustdalslid, J. (2022). *Klimatrusselen. Krise for demokratiet?* Kolofon forlag, 388 sider.

41 Ibid.

menterer tydelig for at «Det er demokratiske land som har størst sjanse til å handtere klimaproblemet, så la oss ikkje stelle oss slik at vi i iveren etter den utopiske 'løysinga' undergrev det demokratiet som, trass i alle sine manglar, er betre enn noko anna system til å møte ei upredikerbar og usikker framtid».

Realiteten er at vi er langt inne i klimaendringene, de er ikke «foran oss» og kan ikke «unngås». Behovet for samfunnsrisikoanalyse og prediksjon på sesong- og årsbasis vokser raskt. Dette er faglig sett særlig utfordrende, og krever operasjonelle jordsystemorienterte observasjonssystemer, modellsystemer og tjenestetilbud for å kunne hanskes best mulig med risikobildet både på kort og lang sikt. Dette er egentlig ikke agendaen til IPCC og UNFCCCs organer, men ivaretas av andre nasjonale og internasjonale institusjoner og organisasjoner som for eksempel ECMWF, WMO, Copernicus og enkelte av de nasjonale meteorologiske instituttene. «Forskning til samfunnsnytte» må være tilnæringsmåten, snarere enn et ensidig fokus på publisering av artikler som passer inn i IPCCs forskningsevaluering. Det er, og i økende grad vil bli, særlig viktig å ta sikte på resultater og publikasjoner som bidrar til å utvikle metoder og resultater som virkelig støtter tjenester som bidrar til målbar risikoreduksjon. Energiomstillingen utgjør en avgjørende del av dette, hvordan flytte energihøstingen fra fossile reservoarer til jordens overflate, og dessuten samtidig ivareta vesentlige hensyn til naturmangfold og samfunnsbehov i arealbruken?

Klimatilpasning har til nå mest vært tenkt som tiltak i spesifikke samfunnssektorer, snarere enn som en mer omfattende prosess der hele samfunnet omstilles – transformeres – til en framtid med et annet klima enn det som vi har kjent til nå. Dette innebærer også å redusere gapet mellom det som er teknologisk og økonomisk innen rekkevidde og det som er gjennomførbart sosialt, kulturelt og politisk. Klimaspørsmålet kan ikke «løses»; læring, innovasjon og nytenking trengs på bred basis der vi aksepterer at vi lever i en verden der klimaet er i endring. Relasjonen mellom natur og samfunn må defineres om.⁴² Perspektivet i vær- og klimaforskningen vil måtte utvides og bidra til at samfunnet kan fungere godt selv om klimaet endres og er usikkert. Helt sentralt her er forsyningen av energi og mat.

Dagens rammeverk for å slå fast hva som samlet må til for å lykkes både med klimatilpasning i en overgangsfase og med varige løsninger som må

42 Ibid.

mer ha karakter av samfunnstransformasjon, er ganske svakt utviklet nasjonalt og internasjonalt, selv om særlig IPCC, IPBES og IEAs⁴³ utredninger har tiltrukket seg stor oppmerksomhet. Men kunnskapsgrunnlaget for opinionsdannere og beslutningstagere er utilstrekkelig, og evnen til å møte eller avbøte alvorlige globale kriser er lite utviklet.

Harald Dovland var norsk forhandlingsleder i arbeidet med å realisere hensikten med FNs klimakonvensjon (UNFCCC) 1995–2007 og hadde dermed i en lang periode en nøkkelrolle i de internasjonale bestrebelsene for å oppnå reelle kutt i klimautslippene. Før den tid var Harald Dovland sentral i det internasjonale forsknings- og forhandlingssamarbeidet som førte til iverksettingen av Konvensjonen om langtransportert grenseoverskridende luftforurensninger (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, CLRTAP). Denne konvensjonen var det første juridisk bindende internasjonale instrumentet på luftforurensningsområdet, og førte til at forsurening og virkninger av sur nedbør ikke lenger er et stort problem i Norge og Europa.⁴⁴ Harald Dovland ble tildelt St. Olavs orden for sitt arbeid i 2021. Under markeringen av tildelingen 23. september 2021 i Oslo ble han intervjuet av journalist Snorre Tønset som spurte om han var optimist i klimaspørsmålet. Harald Dovland svarte da: «Det tette samspillet mellom forskning–policy-utvikling som var i CLRTAP, er manglende i UNFCCC, og det har vært en bremse, f.eks. når det gjelder å ta i bruk modeller for optimale scenarier for utslippsreduksjoner. Jeg er pessimist, det har gått for lang tid, nå må alle land gjøre alt de kan. Nå må alle sette alle kluter til.»

1.1.9 Værets betydning for vann, energi, mat, miljø og samfunnssikkerhet øker raskt

Meteorologiens samfunnsbetydning er økende, ikke bare gjennom værvarslerne, men gjennom transformasjonen av energisystemet – energiomstillingen. «Høstingen» av energi fra fossile karbonholdige reserver under bakken må erstattes av høsting av vind-, sol- og vannkraft på jordens overflate, og der de lokale meteorologiske forhold til enhver tid avgjør energiproduksjo-

43 <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>, <https://ipbes.net/global-assessment> og <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

44 <https://www.nilu.no/2021/09/harald-dovland-utnevnt-til-ridder-av-st-olavs-orden/>

nen. Energihøstingen fra jordens overflate vil få store konsekvenser for disponeringen av arealressursene. Befolkningen øker, klimautviklingen fører til at fordelingen og konsekvensene av værhendelser (temperatur, nedbør, vind) og biogeokjemiske kretsløp av f.eks. karbon og nitrogen og forholdene til havs vil endre seg. Konsekvensene for matforsyningen og vilkårene for bosetting og levekår, og for regional og global sikkerhet vil kunne ha en transformerende betydning for samfunnets stabilitet og funksjonsdyktighet. Behovene for samfunnsrisiko-analyse og prediksjon av vær- og jordsystemsparametre vil vokse både innenfor en kort tidshorison (dager) og på sesong- og årsbasis, som er særlig utfordrende faglig sett, og dette gjelder lokalt såvel som globalt. Dette krever operasjonelle jordsystemorienterte observasjonssystemer, modellsystemer og tjenestetilbud. De samfunnspolitiske og kulturelle sidene ved å hankses best mulig med dette risikobildet både lokalt, nasjonalt, regionalt og globalt er svært utfordrende. Samfunnsbehovet for relevante tjenester og for ekspertbasert rådgivning vil øke kraftig, og dekke et bredt og sammenhengende temafelt – meteorologi, oseanografi, ferskvannsressurser, arealdisponering, biogeokjemiske kretsløp knyttet til terrestriske og marine økosystemer, naturmangfoldet. Sektorinteresser må knyttes sammen. Meteorologiens rolle i bred forstand vil bli sentral og kritisk.⁴⁵ Gapet mellom det som på den ene siden er teknologisk og økonomisk innen rekkevidde, og det som på den andre siden er gjennomførbart sosialt og politisk, må reduseres. Samfunnsrisiko og de faglige utfordringene er svært brede og omfattende, det samme gjelder tjenestebehovet nasjonalt, regionalt og globalt.

1.2 Bokens innhold – kort presentasjon av fem artikler

1.2.1 Utviklingen av numerisk værvarsling i Norge

I Norge har statsmeteorologene tradisjonelt hatt hånd om utarbeidelsen av værvarselet. Det omfattet å ha oppsyn med observasjonsinnsamlingen, analysen av vær-situasjonen basert på observasjonene og utarbeidelsen av en

45 Meteorologi, hydrologi, oseanografi, biogeokjemiske kretsløp, vekselvirkningen med endringer i arealbruk og samfunnsorganisering.

prognose for de neste en til to dagene, og formidlingen av varselet via radio, TV, aviser eller telegrafisk. Væranalysen var særlig basert på målt lufttrykk, temperatur, nedbør, skyer og vind samtidig over et geografisk område som for Norges del kunne omfatte Nord-Atlanteren, Skandinavia, deler av europeisk Arktis og Nord-Europa. Værkartet med linjer for konstant lufttrykk ved bakken viser langt på vei også vindfordelingen i området, og omvendt kan observert vind si noe om trykkgradienten. Radiosonderinger ga observasjoner av fordelingen av temperatur og trykk med høyden. Værkartene med isobarer og isotermer var nyttige når det kom inn samtidige observasjoner over et visst minimumsantall. En erfaren værvarsler kunne se for seg hvordan storskala vind kunne endre temperaturfeltet de kommende timene. Værvarsling var en erfaringsbasert blanding av vitenskap, observasjoner og «regler» som kunne være nokså svakt fundert vitenskapelig, og var en subjektiv snarere enn en objektiv vitenskap. Utover på 1960-tallet begynte det å komme «objektive» operasjonelle værvarsler basert på numerisk løsning av forenklede ligninger for atmosfærisk bevegelse, f.eks. fra UK Meteorological Office ved Bracknell i England. Disse første objektive prognosene hadde ikke direkte beregninger av vær-elementer. Meteorologene på vakt måtte «oversette» til vær, slik at varselet til brukere ennå lenge var subjektivt i den forstand at ulike meteorologer på vakt kunne gi værvarsler som ikke var sammenfallende. Det kontinuerlige arbeidet med værvarslene, i dag formidlet først og fremst via yr.no, gir stadig nye erfaringer om begrensninger i dagens numeriske værprognoser, og dette erfaringsmaterialet utnyttes i videre forskning og utvikling.

Det har tatt drøyt et hundreår fra Vilhelm Bjerknes' erkjennelse av at værvarsling er et initialverdiproblem i klassisk fysikk, til vi nå faktisk varsler været uten subjektive vurderinger fra en meteorolog på vakt. Dette er resultat av et frivillig, konstruktivt og langsiktig samarbeid for å oppnå noe alle har nytte av, og nordmenn har bidratt vesentlig til denne viktige historien.

Trond Iversen beskriver utviklingen av numerisk værvarsling i Norge i artikkelen *Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og i norsk akademia*.

1.2.2 Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle

Artikkelen *Norsk klimaforskning og Meteorologisk institutts rolle* er skrevet av en arbeidsgruppe som har bestått av Rasmus Benestad, Anton Eliassen, Eirik J. Førland, Inger Hanssen-Bauer, Jan Erik Haugen, Øystein Hov, Knut Iden, Ketil Isaksen, Trond Iversen, Øyvind Nordli og Lars Petter Røed, med Øystein Hov som redaktør, og i artikkelteksten er det angitt hvilke delkapitler den enkelte har hatt ansvaret for. Hensikten har vært å beskrive noen hovedtrekk ved norsk klimaforskning med særlig vekt på perioden etter 1970, og der Meteorologisk institutt har bidratt. 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 som Meteorologisk institutt stod for, 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 institusjoner og omfatter nå alle jordsystemets elementer (atmosfære, hav, landjord, is, biogeokjemiske kretsløp) og deres sammenkoblinger, og med mange nasjonale og internasjonale forgreninger.

1.2.3 Norges vei til medlemskap i European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

Framover på 1960-tallet var datamengden og anvendelsesmulighetene for værvarslings- og klimainformasjon etter hvert blitt så omfattende at det var nødvendig med en annen organisering av arbeidet enn slik det var ved Meteorologisk institutt, der statsmeteorologene hadde hovedansvaret både for bruken av observasjonene, væranalysen, prognosefremstillingen og formidlingen – statsmeteorologen var i én forstand både forsker, teknolog, datakyndig og formidler, og hadde i praksis kontroll over hele verdikjeden, eller verdisyklusen, i værvarslingen. På 1960-tallet gjennomførte WMO en oppdeling av verdikjeden som statsmeteorologen tradisjonelt hadde kontroll over, i «observasjoner» organisert i GOS (Global Observing System), «datateknologi» (GTS, Global Telecommunication System) og «varsling» (GDPS, Global Data Processing System, senere GDPFS, Global Data Processing and

Forecasting System, og i dag S-GDPFS, Seamless Global Data Processing and Forecasting System), som peker hen til jordsystemfokus og sammenkobling av jordsystemelementene i prognosemodellene og med dataassimilasjon for å bestemme initialbetingelsene i prognosekjøringene. Til sammen utgjorde GOS, GTS og GDPS elementene i World Weather Watch (WWW) som WMO innførte midt på 1960-tallet som en hjelp til de nasjonale meteorologiske institutters (NMHSs) organisering av arbeidet, og de fleste nasjonale meteorologiske institutter ble etter hvert organisert på denne måten. Denne oppdelingen var så effektiv at det med tiden gikk ut over dynamikken i evnen til å videreutvikle værvarslingen og klimatologiarbeidet. Verdikjedene hang ikke lenger godt sammen, og det utviklet seg gap mellom de ulike delene av verdikjeden. Etter en generasjon var det få med erfaring fra de «gamle» statsmeteorologenes arbeidsform med oversikt over hele verdikjeden der observasjonene ble plottet på kart, værsituasjonen analysert og prognose utarbeidet og formulert som et værvarsel som ble lest på radio, vist på TV eller trykt i dagspressen. I de siste årene har reetableringen av verdikjedetankegangen i en moderne kontekst hatt stor betydning for meteorologisk forskning og tjenesteutvikling.

I artikkelen *Veien til Norges medlemskap i ECMWF* beskriver Øystein Hov og Anton Eliassen hvordan og hvorfor det tok over 15 år fra konvensjonen for European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ble etablert og satt i verk, til Norge ble medlem fra 1. januar 1989. Dette utgjorde en hemsko for norsk forskning og værvarsling. ECMWF er både et forskningsinstitutt og en 24/7/365 operasjonell tjeneste. Senteret produserer globale numeriske værprognoser og annen digital informasjon, og er også en infrastruktur av stor betydning i vær-, klima- og miljøforskning i medlemslandene og etter hvert globalt. ECMWF disponerer en av verdens største supercomputere og datalagringsfasiliteter. Senterets tjenester stilles først og fremst til medlemslandenes rådighet, men ECMWF yter også omfattende bistand i bruk og anvendelse av produktene til WMO og WMOs medlemsland. Kvaliteten på ECMWFs værvarsler og produkter har utviklet seg raskt, i de siste tiårene har man vunnet «one day per decade». Det innebærer f.eks. at varselet for den fjerde dagen er like godt som varselet var for den tredje dagen ti år tidligere. ECMWF har i over 40 år vært verdensledende og er av avgjørende betydning for eksempel for Meteorologisk institutts evne til å løse sitt samfunnsoppdrag – å sikre liv og verdier.

Arbeidet med å opprette ECMWF-konvensjonen startet i 1969 i regi av De europeiske fellesskapene (EF) som et COST-prosjekt (Concerted action in science and technology). ECMWF-konvensjonen ble signert i 1973 og trådte i kraft 1. november 1975. Landene som ble medlemmer da, var Belgia, Danmark, Spania, Tyskland, Frankrike, Irland, Jugoslavia, Nederland, Finland, Sverige, Sveits og Storbritannia. Hellas, Italia, Portugal, Østerrike og Tyrkia var også klare til å gå inn. Av landene som var med i planleggingsfasen, sto bare Luxembourg og Norge utenfor. Til forskjell fra de øvrige nordiske land som var medlemmer fra starten, kom ikke Norge med før vel 15 år senere. Norsk forskning i dynamisk meteorologi stod sterkt internasjonalt på 1950- og utover på 1960-tallet, og det stengte kanskje for evnen til å tro at et europeisk samarbeid kunne føre til ny kunnskap og reduksjon i begrensningene som værprognosene til da var underlagt.

1.2.4 Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC

Artikkelen *Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC*, av Trond Iversen, Anton Eliassen og Øystein Hov,⁴⁶ er et tilsvarende til en artikkel på forskning.no⁴⁷, «Hvorfor varslet ikke norske forskere om klimaendringene tidligere», der pressestoff om drivhuseffekten i tre aviser (Aftenposten, VG og Dagbladet) gjennomgås over perioden 1959–1988.

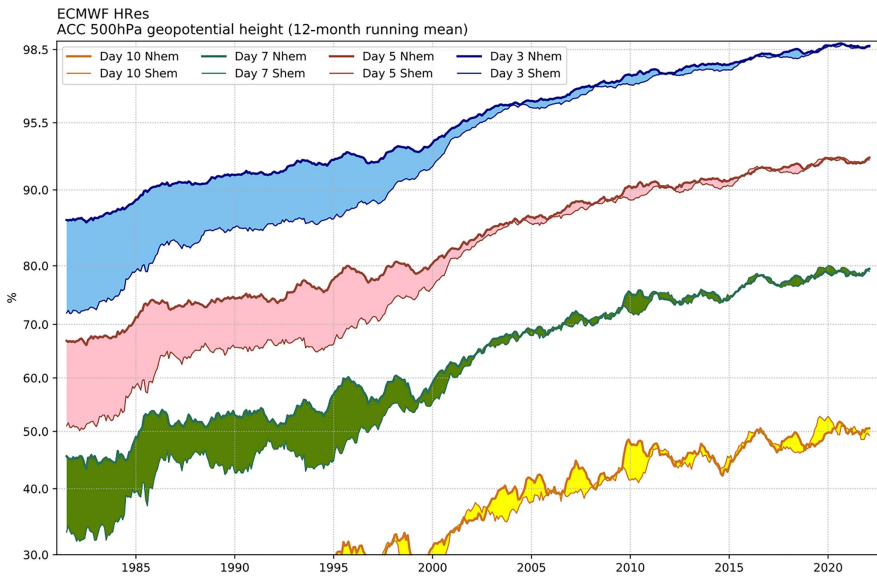
1.2.5 «Hurum-saken» og Meteorologisk institutts målinger

I artikkelen *Måleprosjektet på Hurum: Tilsvar til 30 år med mistenkeligjøring av måleprosjektet*, av Per-Ove Kjensli, Lars Andresen, Knut Harstveit og Ove Grasbakken⁴⁸, dokumenteres måleprosjektet som ga grunnlagsdata for

46 Trykt i *Norsk mediehistorisk tidsskrift* nr. 1 2021.

47 Jakobsen, S.E. (2021). *Hvorfor varslet ikke norske forskere om klimaendringene tidligere?* Artikkel på nettstedet forskning.no, 11.01.2021. <https://forskning.no/media/hvorfor-varslet-ikke-norske-forskere-om-klimaendringene-tidligere/1795682?fbclid=IwAR0lR2pUPDSeU-pDiwmlO-A4NOr5lEXLLJJA0uun2xyLX0K7uloXHCptmWbk>

48 Også publisert som MET-info nr 25/20 ISSN 1894-759X, Oslo 30.11.2020, og er tilgjengelig via <https://www.met.no/publikasjoner/met-info/met-info-2020>



Figur 1.2 Figuren viser ECMWF-varslenes kvalitetsutvikling uttrykt ved feilen i beregnet høyde på 500 hPa-flaten sammenlignet med observasjoner for den nordlige og sørlige halvkule hver for seg som en funksjon av år og for dag 3, 5, 7 og 10 i prognosen. Fram til slutten av 1990-tallet er feilen i beregnet høyde på 500 hPa-flaten mye større over den sydlige halvkule enn over den nordlige, og kvaliteten på værprognosene tilsvarende dårligere. Utviklingen i satellittobservasjoner og evnen til å ta observasjonene i bruk i prognoseberegningene har ført til at kvalitetsforskjellen mellom halvkulene er mye mindre i dag. Kvaliteten på prognosene fra ECMWF har omtrent siden senterets operasjonelle oppstart vært verdensledende når det sammenlignes med resultatene fra andre globale værvarslingscentre.

en detaljert klimatologisk analyse av Hurum-alternativet for storflyplassutbyggingen på slutten av 1980-tallet, med det resultat at Luftfartsverket ikke kunne anbefale utbygging på Hurum-landet. Norsk meteorologi ble her for kanskje første gang involvert i en sak med svært stor medieoppmerksomhet og politisk kraft, med fare for nattesøvn og det som verre var for ellers fredelige meteorologer. Artikkelen beskriver bakgrunnen for den såkalte Hurum-saken.

1.2.6 Andre trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning

Meteorologisk institutt har helt siden 1970-tallet bidratt mye til miljøforskningen, særlig til forståelsen av langtransport av luftforurensninger i Europa og Arktis. Her i boken er tematikken berørt flere steder basert på tidligere publikasjoner,⁴⁹ og det gis ikke her en systematisk fremstilling av dette arbeidet og dets forurensningspolitiske betydning. Oseanografisk forskning er omtalt i flere sammenhenger, ikke minst i delkapitlene 3.2.11 og 3.3.6 i Norsk klimaforskningshistorie der Meteorologisk institutt har bidratt. Men en samlet fremstilling er ikke gjort for denne boken. Dette gjelder også for utviklingen i satellittobservasjoner og deres bruk og nytte, og i dataforvaltning, selv om noen hovedtrekk er nevnt i kapittel 1.1.5.

1.3 Publisert litteratur om norsk meteorologisk forskning

Norsk meteorologisk forskning med hovedvekt på arbeid etter 1960 og der Meteorologisk institutt har bidratt, er dokumentert gjennom vitenskapelige publikasjoner og rapporter, men er bare i liten grad beskrevet tidligere i en forskningshistorisk kontekst.

I forbindelse med Meteorologisk institutts 100-årsjubileum i 1966 redigerte Asbjørn Barlaup en artikkelsamling som gir en bred og instruktiv beskrivelse av institusjonen som hadde totalansvaret for all værvarsling i Norge inkl. forskning.⁵⁰

49 Viktige trekk ved dette arbeidet er beskrevet bl.a. i Rotschild, R.E. (2018). *Poisonous Skies. Acid Rain and the Globalization of Pollution*. University of Chicago Press. 336 p.

Grennfelt, P., A. Engleryd, M. Forsius, Ø. Hov, H. Rodhe & E. Cowling (2020). Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio*, 49, 849–864. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>

Grennfelt, P. & Hov, Ø. (2005). Regional Air Pollution at a Turning Point, *Ambio*, 34, 2–10.

Grennfelt, P. & Hov, Ø. (2022). An international science – policy mechanism that has worked (How a small international organisation became instrumental for policy development and forming legacy within the field of air pollution). Under skriving.

50 Barlaup, A. (red.) (1966). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*, Fabritius & Sønners Forlag, 212 s.

Til Norsk Geofysisk Forening 100-årsjubileum i 2017 ble det utgitt en omfattende samling artikler redigert av Magnar Gullikstad Johnsen ved Nordlysobservatoriet, Tromsø geofysiske observatorium, UiT-Norges arktiske universitetet.⁵¹ Jubileumbokens målsetting var å se nærmere på de ulike fagretningenes historie og utvikling gjennom foreningens historie, deres kobling til Norsk Geofysisk Forening og tanker om fremtiden. Bokens artikler er skrevet for et bredt publikum der målgruppen ble definert til å ligge på førsteårsnivå på universitetet og oppover.⁵²

Forskningshistorien etter andre verdenskrig er bare beskrevet summarisk og i fragmenter i den siste boken om norsk meteorologi (Nilsen & Vollset, 2016).⁵³ Det er et behov for å formidle utviklingen fram til i dag der værvarselet beregnes ved hjelp av omfattende numeriske modeller og regnemaskiner med stor datakraft. Statsmeteorologene har nå en sentral rolle ikke minst i kraft av innsikten og erfaringen de har i brukermiljøenes bruk av og behov for tilpasset informasjon om værutviklingen og virkningen som uvær kan få. Den gamle «forskermeteorologen» har endret karakter siden meteorologiens barndom da samme person var både vitenskapsmann og værvarsler, forskningen og varslingen har skiftet karakter fra å kunne håndteres av en og samme person med papir og blyant, til høyt spesialisert aktivitet der det tar tid og innsats å bli spesialist og ekspert. For 100 år siden var meteorologien et umodent fag, i sin tidlige utvikling. Metodene var enkle sett med dagens øyne. Meteorologi er nå et modent fagfelt med et avansert metodisk grunnlag i matematikk, fysikk, kjemi, instrumentering, informasjonsteknologi, økonomi og samfunnsorganisering, kommunikasjon og formidling.

Forskning krever spesialutdannelse og dybdeerfaring. Enkeltforskere kan bety svært mye, men som regel mest i et nettverk med et overordnet mål direkte eller på lengre sikt, knyttet til kvaliteten på vær- eller klimavarsling. Forskningstemaene «eies» ikke av en bestemt institusjon, det forskes og

51 http://www.ngfweb.no/docs/jubileumbok_100aar_small.pdf, 221 s.

52 Norsk geofysisk forenings jubileumbok inneholder følgende artikler: Historisk overblikk ved Magnar Gullikstad Johnsen, geodesi (Bjørn Geirr Harsson), seismologi og den faste jords fysikk (Hilmar Bungum), glasiologi (Olav Orheim), hydrologi (Arne Tollan), meteorologi (Sigbjørn Grønås og Magne Lystad), oseanografi (Peter Mosby Haugan), romfysikk (Asgeir Molmen Brekke).

53 Barlaup, A. (red.) (1966). *Det norske meteorologiske institutt 1866–1966*, Fabritius & Sønners Forlag, 212 s.

arbeides i nettverk, team, på tvers av institusjoner, disipliner og landegrenser. Tilsvarende utvikling er i ferd med å skje innenfor formidling av tjenester og informasjon. Institusjonstilhørighet er mest en nødvendighet for å organisere arbeidet, sørge for forskningsinfrastruktur og avholde medarbeider-samtaler, ikke for å få arbeidet gjort.

Thorleif Aass Kristiansens PhD-avhandling⁵⁴ er en forskningshistorisk beskrivelse av Arnt Eliassen (1915–2000) og Ragnar Fjørtofts (1913–1998) virke, begge nestorer i norsk meteorologisk forskning.

Meteorologisk forskning til samfunnsnytte er nært knyttet til Meteorologisk institutt, og været har tradisjonelt hatt en stor plass i folks liv og i landets utvikling. Dette gjenspeiles i den norske kultur- og naturhistorien, der f.eks. det meteorologiske nettverket av bakkestasjoner har bundet landet sammen og vært en forutsetning for værvarslene og for vær- og klimaforskning. Formidlingen av værvarslene har hatt en sentral plass i samfunnet, fra telegraf og aviser via radio og TV til dagens yr.no. Værvarsler er dårlige salgsobjekter, men viktige samfunnsobjekter. Observasjonssystemet endrer seg med den teknologiske utviklingen for øvrig, samtidig som arven fra «det gamle» er viktig å ivareta inntil forskningen viser at «det nye» faktisk er bedre. Dette er historien som fortelles av Hugo Lauritz Jenssen og Guri Dahl og utgitt til Meteorologisk institutts 150-årsjubileum i 2016,⁵⁵ og med et historisk billedmateriale fra mange sider av det instrumentelle, bakkebaserte observasjonssystemet.

1.3.1 Vitenskapsakademiets institutt for vær- og klimaforskning ved Universitetet i Oslo (1947–1960)

Magnus Vollset publiserte i 2015⁵⁶ en drøfting av Vitenskapsakademiets institutt for vær- og klimaforskning ved Universitetet i Oslo (1947–1960) og som professor Einar Høiland ledet, og et sammendrag av denne drøftingen

-
- 54 Kristiansen, T.Aa. (2017). *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*. PhD-avhandling. Universitetet i Bergen.
- 55 Jenssen, H.L. & Dahl, G. (2016). *Værfolk fra kysten Lindesnes og dalstrøka innafor til yr.no*. Forlaget Press, 304 s. Ted Torfoss ved Meteorologisk institutts avdeling for drift av observasjonssystemer var en nøkkelperson i bokens tilblivelse.
- 56 Vollset, M. (2015). Asking too much? Postwar climate research in Norway, 1947–1961, *History of Meteorology*, 7, 83–97.

er gitt i Nilsen og Vollsets bok *Vinden dreier*⁵⁷ fra 2016. De skrev boken på oppdrag fra Meteorologisk institutt. Vollset sier at «Ved landets eneste rene meteorologiske forskningsinstitusjon var utviklingen av tung teori løsrevet fra alle hensyn til praktisk nytte», og at «forskningen var ekstremt teoretisk». «Mens kjernen i numerisk meteorologi var ekstreme forenklinger, startet Høilands institutt i motsatt ende. Selv om forskningen ga nye innsikter, var overføringsverdien fra teoretisk forskning til praktisk nytte minimal», og det konkluderes: «I praksis endte Institutt for vær- og klimaforskning som lite annet enn et rekrutteringstiltak for framtidige forskere.»

Det er neppe hold i disse påstandene. Einar Høiland var ganske nytteorientert og -bevisst i sitt virke. I artikkelen «Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og norsk akademia» annetsteds i denne boken har Trond Iversen synspunkter som går i en annen retning enn det som Vollset har skrevet om betydningen av Institutt for vær- og klimaforskning under Einar Høilands ledelse.

Professor John Grue ved Matematisk institutt, Universitetet i Oslo, og elev av Enok Palm, som var en av forskerne i Høilands senter på 1950-tallet, sier⁵⁸ at senteret bidro til mer enn rekruttering av forskere til akademia. Senteret var en skole av internasjonal standard og bidro til å løfte den internasjonale forskningen i geofysikk generelt. Flere av deltakerne ledet senere den videre utvikling innen meteorologi inkludert kjemisk meteorologi og oseanografi, innen f.eks. dypvannsdannelsens bidrag til den globale havsirkulasjonen.

I note 904 hos Nilsen og Vollset⁵⁹ står det at følgende forskere var innom instituttet: Per Martin Breistein, Arne Foldvik, Yngvar Gotaas, Einar Høiland, Jack Nordø, Eyvind Riis, Sigurd Smebye, Kristian Trægde, Arnt Eliassen, Ragnar Fjørtoft, Kaare Pedersen, Eigil Hesstvedt, Marius Todsen og Enok Palm. Mange av disse dannet på hver sine måter forskningstradisjoner i grener av meteorologien og i anvendt matematikk fra 1960-tallet, og gjennom sine elever har disse forskningstradisjonene utviklet seg videre og

57 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press, 509 s.

58 Epost fra John Grue til Øystein Hov 21. oktober 2016.

59 Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016). *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Scandinavian Academic Press, 509 s.

blitt en del av grunnstammen for tjenestene og forskningen både ved Meteorologisk institutt, ved Universitetet i Oslo (Institutt for geofysikk, senere Institutt for geofag, og deler av nåværende Matematisk institutt), ved Universitetet i Bergen (Geofysisk institutt), ved NILU, CICERO, og i noen grad ved Havforskningsinstituttet, Nansensenteret, Polarinstituttet, NIVA, Akvaplan NIVA og UiT – Norges arktiske universitet.

Flere av dem som ble rekruttert til akademiske stillinger via sitt engasjement i Høilands senter, bygget senere opp forskningsmiljøer som i perioder har vært verdensledende, og som har et stort antall meteorologer ansatt og som mange har vært innom i kortere eller lengre perioder i utdanningsøyemed, til videre kvalifisering eller som fast ansatte. Tverrfaglighet, utnyttelse av meteorologien i hele sin bredde, samfunnsanvendelser og -engasjement, internasjonalisering, faglig utvikling og faglige anvendelser i nasjonale og internasjonale nettverk, nedtoning av instituttgrensene, konkurranseutsattethet, innovasjonskraft og global rekrutteringsevne beskriver mange av disse miljøene. Eksempler er utviklingen av forskningsmiljøet i hydrodynamikk ved Universitetet i Oslo (Enok Palm), miljøet i atmosfærekjemi ved Universitetet i Oslo (Eigil Hesstvedt) og forskningen ved Universitetet i Bergen innenfor dypvannsdannelse (Arne Foldvik).

1.3.2 Et sideblikk til Bergen

Den historiske dokumentasjonen av meteorologisk forskning ved Bergen museum etter første verdenskrig og ved Universitetet i Bergen etter andre verdenskrig er ganske omfattende. Vilhelm Bjerknes og Bergenskolen hadde en dominerende plass etter første verdenskrig.⁶⁰ Fremveksten av geofagene ved Universitetet i Bergen er beskrevet av Jostein Goksøyr i jubi-

60 Bergeron, T., Devik, O. & Godske, C.L. (1962). V. Bjerknes March 14 1862 – April 9 1951. Publisert i In memory of Vilhelm Bjerknes on the 100th anniversary of his birth, *Geophysica Norvegica* vol. XXIV, s. 7–25, Det Norske Videnskaps-Akademi i samarbeid med American Meteorological Society, Boston, USA.

Friedman, R.M. (1993). *Appropriating the Weather: Vilhelm Bjerknes and the Construction of a Modern Meteorology*, Cornell University Press, 280 s.

Jewell, R. (2017). *The weather's face*. Fagbokforlaget, 516 s.

Petterssen, S. (1974). *Kuling fra nord. En værvarslers erindringer*. H. Aschehougs & Co, Oslo, 312 s.

leumsboken som ble gitt ut ved universitetets 50-årsjubileum i 1996,⁶¹ mens forskningshistorien med hovedvekt på den siste generasjonen og ved Geofysisk institutt og Universitetet i Bergen er dokumentert ved flere jubileer ved instituttet.⁶²

Selv om Bjerknes-navnet er flittig brukt i dag, så er det neppe en klar linje fra Vilhelm Bjerknes' tid i Bergen, frem til dagens Bjerknessenter for klimaforskning. Vilhelm Bjerknes' visjon, at værvarsling var et initialverdiproblem i klassisk fysikk hvor man fra en initialtilstand kunne beregne fremtidige tilstander ut fra lovene i klassisk fysikk, fikk han selv aldri prøvd i praksis. Det er to grunner til dette: Beregningsoppgaven krever store elektroniske regnemaskiner, som ikke fantes på den tiden. Dessuten hadde han ingen muligheter til å få bestemt en initialtilstand tilstrekkelig godt til å gjennomføre en beregning på et virkelig værsystem.

Han utviklet en enklere modell for lavtrykkenes tilblivelse og utvikling (frontmodellen) ved hjelp av observasjonene han hadde. Modellen sammenfattet typiske trekk ved lavtrykkenes indre struktur i forskjellige stadier av deres utvikling. Den gjorde det mulig å forutsi en omtrentlig værutvikling et døgn frem eller så, ved å tolke observasjonene i lys av det man visste om lavtrykkenes struktur og hvordan denne utviklet seg med tiden. Grunnlaget for Bergenskolemodellen ble utviklet i årene fra 1904 fram til og med Leipzig-perioden, i og med at han fikk midler til å ansette assistenter som han brukte til å forsøke å løse ligningene grafisk. Det var gjennom disse grafiske analysene han og assistentene fikk øynene opp for konvergenlinjene (konfluenslinjer) i vindfeltene som henger sammen med temperaturkontraster, dvs. fronter. Han hadde værvarslingsprosessen i fokus: Bestemmelse av starttilstand – analysen – som grunnlag for en prognose basert på analyser av fronter og deres vertikalstruktur. Det er en rød tråd fra 1904-gjennombruddet – som egentlig var basert på sirkulasjonssatsen og betydningen av baroklinitet – til Bergenskolemodellen.

61 Goksøyr, J. (1996). *De ikke-biologiske realfagene. Universitetet i Bergens historie bind II*, s. 128–243. Universitetet i Bergen.

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

Utaaker, K., red. (1999). *Bergen geofysikeres forening 1949–1999*. Allkopi, Bergen, 94 s.

Vollset, M., Hornnes, R. & Ellingsen, G. (2018). *Calculating the world. The history of geophysics as seen from Bergen*. Fagbokforlaget, 416 s.

I dag utføres værvarslingen ved å realisere Bjerknes' opprinnelige visjon ved hjelp av moderne metoder for observasjon, og store regnemaskiner som assimilerer dataene for å bestemme atmosfærens tilstand, og så beregner utviklingen fremover i tid etter lovene i klassisk fysikk. Først etter årtusen-skiftet er værvarselet etter hvert bestemt hovedsakelig på denne siste måten, og ikke ved hjelp av meteorologenes generelle meteorologiske kunnskap. Dagens klimamodeller er formulert etter de samme grunnleggende prinsipper, og må også kjøres på store regnemaskiner.

Vilhelm Bjerknes flyttet til Oslo i 1926. I Bergen ble tiden omtrent fram til Bjerknessenterets tilblivelse preget av at professorene og andre forskere stort sett bestemte sin egen forskningsagenda, og de samarbeidet med dem de hadde lyst til å samarbeide med. Det var ingen klar strategi som bandt bergensmiljøet sammen. Men etter hvert ble det mulig å sette sammen værvarslings- og klimamodeller basert på grunnleggende naturvitenskapelige prinsipper, og kjøre slike modeller fremover i tid på store regnemaskiner. Klimamodellene er så omfattende at flere forskere må samarbeide i modellutviklingen og i den videre tolkning av resultatene. I Bergen hadde man også arbeidet mye med observasjoner av havet, både i overflaten og nedover i dypet, og av atmosfærens grenselag mot bakken, og de nye modellene sammen med observasjonene ga nye tolkningsmuligheter.

I tillegg forsto enkelte av forskerne i Bergen at et samarbeid ga større muligheter for å få økt finansiering. Samlet ga disse elementene bergensmiljøet en drivkraft som gjorde at mange så fordelene ved å samarbeide innenfor et rammeverk med en strategi som var lett å kommunisere til bevilgende myndigheter. Forskningsmiljøene i Oslo hadde tatt eierskapet til den teoretiske hydrodynamiske forskningen, det skjedde da Vilhelm Bjerknes flyttet til Oslo og konsentrerte seg om hydrodynamisk teori. At bergenserne konsentrerte seg om andre ting, er ikke så rart. I 1970-årene var meteorologisk forskning i verden ganske fragmentert i mindre fagområder som dynamikk, skyfysikk, stråling, atmosfærekjemi og turbulens. Man kommuniserte ikke særlig mye på tvers av disse fagbåsene. Endringene kom da datamaskinene ble kraftige nok til at værmodellene kunne inkludere fysiske prosesser som skyer, stråling og parameterisering av konveksjon og turbulens. Denne utviklingen kom rundt 1980, omtrent samtidig med at ECMWF begynte sine operasjonelle prognoser og f.eks. Meteorologisk institutt begynte utviklingen av den norske numeriske varslingsmodellen NorLAM.

Jordsystemorienteringen i klimamodellene krever samarbeid mellom de involverte fagområder for å lage best mulige klimaprognoser. Dette har forent den meteorologiske forskningen, så vel i Bergen som andre steder. Bergenserne var raske til å se fordelene av å samarbeide innenfor en synlig struktur, det taler til deres fordel.

Det teoretiske miljøet innenfor hydrodynamikk i Oslo fra 1926 og fremover krevde ikke samarbeid på samme måte, her kunne de beste teoretikerne kollokvare sammen, for så å regne videre på sine problemer hver for seg. Samarbeid ut over gode kollokvier var ikke nødvendig. Gode teoretikere er i betydelig grad individualister.

Forskningssamarbeid avhenger også av aktørenes personligheter. Den viktigste suksessfaktoren for etableringen av Bjerknessenteret som et senter for fremragende forskning (SFF) var nok at «three young scientists took, or were granted, a mandate to formulate a vision for climate collaboration in Bergen. These were marine geologist Eystein Jansen, meteorologist Nils Gunnar Kvamstø and the mathematician and climate modeller Helge Drange». Dette mandatet realiserte de både faglig og organisatorisk i tilstrekkelig grad til å nå fram med søknaden om SFF.⁶³

Sett fra Oslo bidro en rekke personer i Bergen til forarbeidet og grunnlaget for det som ble Bjerknessentret. Vi vil nevne geologiprofessor Jan Mangerud med mangeårig paleoklimaforskning, geologiprofessor Eystein Jansen med bakgrunn i marin kjerneboring i Ocean Drilling Programme, oseanografiprofessor Arne Foldvik (og andre fra Geofysisk institutt) med mangeårig observasjonsbasert innsikt i global havsirkulasjon og særlig Weddellhavets betydning, Helge Drange med karbonsyklus-modellering utført ved Nansensenteret og knyttet til global havmodellering, daværende førsteamanuensis ved UiB Nils Gunnar Kvamstø med kompetanse i meteorologi og på den franske klimamodellen Arpège, forsker på Havforskningsinstituttet (HI) Harald Loeng, som involverte HI i klimaforskningssamarbeidet i Bergen, og oseanografiprofessor og Nansensenterleder Ola M Johannesens med lang erfaring i å bygge livskraftige forskningssamarbeid. Sett fra Meteorologisk institutt har geologimiljøet ved Universitetet i Bergen hatt

63 Vollset, M., Hornnes, R. & Ellingsen, G. (2018). *Calculating the world. The history of geophysics as seen from Bergen*. Fagbokforlaget, 415 s, s. 302.

mye å si for å knytte instrumentperioden i klimaforskningen (fra midten av 1850-tallet) sammen med forståelsen av det naturlige klimaets variabilitet på lengre tidsskala, og dette har motivert både klimamodelleringen og etableringen av tidsserier for klimaparametre bakover i tid. Med kombinasjonen av faglig innsikt og pedagogisk formidlingsevne har ikke minst professorene Jan Mangerud, Atle Nesje og John B. Birks ved Universitetet i Bergen evnet å motivere forskningen i andre disipliner, slik som på Meteorologisk institutts ansvarsområder.

Iversen, T. (2023). Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og norsk akademia. I Ø. Hov (Red.), *Forskning til samfunnsnytte: Trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning* (s. 58–132). Fagbokforlaget.
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220102>

2

Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og norsk akademia

Trond Iversen

2.1 Motivasjon

Siden menneskeheten utviklet organisert næringsvirksomhet som påvirkes av vær eller tilgang på rent vann, slik som jordbruk og fiske fra åpen farkost, har det vært behov for å forutsi været de kommende timer, døgn, uker og måneder. Myter, værtegn i naturen og erfaringer fra sesongvariasjoner (jf. primstaven) har vært benyttet gjennom mange hundre, kanskje noen tusen, år. Det ble jevnlig erfart gjennom tap og sorg at å varsle været er vesentlig vanskeligere enn for eksempel å forutsi soloppganger og tidevann. Ikke desto mindre har vi i Norge fått daglige vær- og stormvarsler over eteren i snart 100 år,¹ og på TV-skjermen i over 60 år. Selv om disse varslene var bygget på

1 Utdrag av Bergen Radios historie, skrevet av Steinar Jensen til 90-årsjubileet, ansatt ved Bergen Radio 1970–1980: «I 1922 tok Bergen Radio i bruk rørsenderen som den første stasjon i Europa.

naturvitenskapelig teori, var det allment kjent at de kunne ha alvorlige feil som i verste fall kunne få alvorlige konsekvenser. Kanskje var det også slike «blandede erfaringer» som gjorde at altfor mange ikke tok konsekvensene av værvarslene til fjells under ulykkepåsken i Sør-Norge i 1967.² De første offentlige fjellvettreglene kom da, hvorav én het «Vis respekt for været og værmeldingen» (nå revidert til «Ta hensyn til vær- og skredvarsel»).

I dag er vi blitt vant med å finne fram til treffsikre og pålitelige værvarsler for de kommende døgn f.eks. via nettjenesten yr.no. Kvaliteten på værprognosene og allmennhetens tilgang til dem har utviklet seg formidabelt siden det siste årtusenskiftet. Dette er av stor betydning for privatpersoner, bedrifter og samfunnsinstitusjoner som påvirkes av vær og vind. Dette har ikke kommet av seg selv, men er resultat av en tålmodig og langsiktig utvikling av vitenskap og teknologi over mange tiår,³ der den økte kvaliteten til værvarslene som beregnes numerisk med kraftige datamaskiner, er hovedårsaken. De to, tre siste tiårenes forskning har også brakt fram metoder for å beregne jordas klima, hvordan det har variert historisk under vekslende ytre betingelser, og hvordan det kan endres som følge av ulike antagelser om menneskers påvirkning de kommende tiår og hundreår. Dette er numeriske klima- og jordsystemmodeller, som er nært beslektet med numerisk værvarsling.

Norske fagfolk innen numerisk værvarsling og klimaberegninger samarbeider nå mer internasjonalt enn noensinne. Dette gjøres dels for å få tilgang til noen av verdens mest regnekraftige datamaskiner, slik at de mest avanserte beregningene kan gjøres på kortest mulig tid, og dels fordi fagets

Senderen ble ombygget i 1923, slik at man også kunne sende ut værmeldinger på telefoni. Det hører med til historien at den første 'kringkasting' her i landet også foregikk fra Rundemanen. Under landbruksmøtet i Stavanger sommeren 1923, ble det – som et eksperiment – overført en tale av landbruksdirektøren, på landlinje fra Kristiania til Rundemanen og derfra over radio til møtet i Stavanger. I referatet fra møtet heter det at 'direktørens tale ble tydelig oppfattet'. Fra sommeren 1923 ble senderen også brukt til to daglige værmeldinger på telefoni og telegrafi. Meldingene var basert på værobservasjoner fra skip, som var bearbeidet ved værvarslingsinstituttet, hvorefter Rundemanen sendte ut rapporter om kuling, storm, vindretning og siktbarhet for de viktigste områdene.» Den første offentlige kringkasting til allmennheten, inkludert en værmelding, er dokumentert i boka *Vinden dreier*, s. 190–195. 15. desember 2024 kan vi i hvert fall markere et sikkert 100-årsjubileum (Kilde: statsmeteorolog Jon Smits).

2 <https://www.klikk.no/historie/doden-i-paskefjellet---tragedier-i-ko-da-uvaer-traff-skiturister-i-pasken-1967p-6899525>

3 www.nature.com/doi/10.1038/nature14956

utfordringer blir stadig mer avanserte og krever forskerkompetanse på en rekke ulike fagfelt. Dette omfatter forståelse av komplekse prosesser i jord-systemet, numerisk matematikk, optimal bruk av beregningskraftige elektroniske regnemaskiner, tilgang til og utnyttelse av store mengder direkte og indirekte observasjoner, kommunikasjon og presentasjon av store data-mengder i former som er nyttig for brukerne.

Denne artikkelen forsøker å beskrive viktige elementer i den utviklingen som har vært innen numerisk værvarsling, med vekt på norske bidrag. Fagfeltet fortsetter videre i årene som kommer med nye utfordringer. Veksten i regnekraft per prosessor kan ikke fortsette som før, samtidig som klimaendringene fører med seg flere potensielt farlige værhendelser, og behovet for pålitelige værvarsler øker. Det er å håpe at leseren får økt forståelse for hvordan moderne værvarsling er basert på naturvitenskap og teknologi, samtidig som gode værvarsler er av stor og økende betydning for samfunnet og for enkeltmennesker.

2.2 En eksakt naturvitenskap

Gamle tiders væerspådommer kunne nok et stykke på vei minne om noe vitenskapelig, men begrensningene var betydelige så lenge det ikke fantes instrumentelle observasjoner av værets elementer, og det manglet grunnleggende forståelse av lufta som medium og begreper som trykk, temperatur, fuktighet osv. Under seilskutetiden var passatvindene og stillebeltene godt kjent, og astronomen Edmond Halley forsøkte å forklare disse i 1686⁴ på basis av den tidas forståelse av fysikk, men han ble korrigert i 1735 av George Hadley.⁵ Det var den uttalte persistens som gjorde at passatvindene ble oppfattet som et spesifikt fenomen som man kunne forklare uten avanserte observasjonssystemer og moderne teori.

Værsystemene på midlere og høye bredder lot seg derimot ikke like enkelt forklare eller forutsi. Meteorologiske observasjoner hadde lenge vært tatt ved astronomiske observatorier i Europa da det midt på 1800-tallet ble

4 <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1686.0026>

5 <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstl.1735.0014>

oppdaget at forflytningen av et farlig stormsystem gjennom Europa kunne ha vært varslet et døgn eller to i forveien. En analyse som ble foretatt i ettertid ved Paris-observatoriet,⁶ konkluderte at stormen kunne vært varslet dersom alle europeiske observasjoner av trykk, temperatur og nedbør hadde vært tilgjengelig i sann tid. Denne oppdagelsen førte til at flere meteorologiske institutter med ansvar for å varsle vær og vind, ble etablert de påfølgende årene. Det norske meteorologiske institutt ble grunnlagt 1. desember 1866 med Henrik Mohn som direktør. Dette la grunnlaget for nye systematiske studier av værvarslings muligheter og begrensninger på naturvitenskapelig grunn.

Norge er en pionérnasjon innen naturvitenskapelig basert værvarsling. Eksempelvis ble den geostrofiske vindformel, som uttrykker en sammenheng mellom den horisontale fordeling av lufttrykk og de storskala vindene utenfor tropene, publisert allerede i 1876 av Henrik Mohn⁷ i samarbeid med Cato M. Guldberg.

Ved å måle lufttrykk samtidig over et geografisk område hadde man dermed også langt på vei kartlagt vindfordelingen i området. I tillegg var det kjent at det var en tilnærmet entydig sammenheng mellom den vertikale fordelingen av lufttrykk og høyden over havet med luftas massetetthet som proporsjonalitetskoeffisient (kalt hydrostatisk balanse). Dermed kunne også den vertikale variasjonen av vind kartlegges ved å måle den horisontale fordeling av temperatur og trykk samtidig. Dette ga et solid grunnlag for å bli internasjonalt enige om å ta meteorologiske observasjoner samtidig (synoptisk) og distribuere disse til alle værtjenester så fort det lot seg gjøre med datidens teknologiske muligheter. Mohn var en sterk pådriver for dette innen den internasjonale meteorologiske organisasjon (IMO), som mange tiår senere ble til WMO organisert under FN.

Værkart med linjer gjennom punkter for konstant trykk (isobarer) og temperatur (isotermer) var derfor nyttige i den grad mange nok samtidige observasjoner var tilgjengelige for værvarsleren. Man kunne også se for seg, og tentativt beregne, hvordan de storskala vindene kunne endre temperaturfeltet de kommende timene. Men det fantes ingen stringent vitenskapelig

6 <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00033798400200311>

7 Guldberg, C.M. & Mohn, H., 1876. *Études sur les mouvements de l'atmosphère (del 1)*.

teori for utviklingen av trykk, temperatur og vind å basere værvarslene på. En slik teori ble imidlertid publisert i 1904 av Vilhelm Bjerknes. Han knyttet de termodynamiske og fluiddynamiske teorier sammen til det han kalte fysikalsk hydrodynamikk.⁸

Før Bjerknes' teori omfattet datidens tanker om vitenskapelig basert determinisme ikke værvarsling. Uten det formelt naturvitenskapelige grunnlaget på plass, var dette en blanding av vitenskap, observasjoner, anekdoter og huskereglar. Det var ikke anerkjent som fagfelt blant de såkalt *eksakte naturvitenskaper*, slik for eksempel beregninger av planetenes bevegelser var. Værvarsling var *subjektivt* fordi ulike eksperter i faget ville anvende huskereglar forskjellig og dermed avlede ulike værvarslar. Men med Bjerknes' teori fra 1904 var det – i hvert fall prinsipielt – mulig å tenke seg at værvarslar kunne beregnes uten fageksperters subjektive tolkninger. Værvarslar skulle altså kunne beregnes *objektivt*.

På grunnlag av sine ideer fikk Bjerknes økonomiske midler fra Carnegie-fondet i USA til å ansette to vitenskapelige assistenter for resten av sin aktive karriere. Det tok imidlertid nesten femti år før det formelle teoretiske grunnlag kunne omsettes til objektive beregninger av værets utvikling. Matematikken var komplisert, og man hadde dårlig innsikt i egenskapene til ligningene og deres løsninger. Før programmerbare elektroniske regnemaskiner ble tilgjengelige, kunne heller ikke slike beregninger gjennomføres i praksis (selv om det ble forsøkt av Richardson, se nedenfor).

Bjerknes og hans første assistenter satte imidlertid i gang med å utvikle metoder for å løse ligningene grafisk. Denne forskningen økte den fysiske forståelsen betydelig, men førte ikke fram til beregning av objektive prognoser. De praktiske prosessene som ble utviklet, la imidlertid grunnlaget for nye og bedre metoder for analyser av værkart som grunnlag for subjektive værvarslar. Dette revolusjonerte faget, og «Bergenskolen» dominerte den daglige værvarslingen utenfor tropene i mye av det påfølgende hundreår.

Vilhelm Bjerknes ble professor i mekanikk og teoretisk fysikk i Oslo i 1926. Der skiftet han tema og arbeidet med matematiske problemstillinger som etter hvert dannet en skole innen geofysisk fluiddynamikk («Oslo-

8 Bjerknes, V., 1904. Das problem der Wettervorhersage, betrachtet von Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Meteor. Zeits.*, 21, 1–7; oversatt til engelsk av Y. Mintz: Weather forecasting as a problem in mechanics and physics.

skolen»). Dette ble dels videreført av Halvor Solberg, en av de tre mest sentrale skikkelsene i Bergensskolen, men i høyere grad av Einar Høiland, som ble V. Bjerknes' siste Carnegie-stipendiat i 1935.

Briten Lewis Fry Richardson forsøkte å beregne værutviklingen ved å engasjere mange mennesker til å bruke den tidens mekaniske regnemaskiner.⁹ Dette forsøket på manuell numerisk værvarsling ga voldsomt store feil, antagelig uten at Richardson forsto hvorfor (se f.eks. boken til Peter Lynch¹⁰); et godt eksempel på at man manglet en god forståelse for ligningenes egenskaper. Nå vet man at små unøyaktigheter i de analyserte feltene for trykk, temperatur og vind gir opphav til avvik fra geostrofisk og hydrostatisk likevekt, og disse unøyaktighetene gjør at det beregnes lydølger og tyngdebølger (som er samme type bølger som overflatebølger på vann) med fullstendig urealistisk høy energi. Richardsons beregnede løsninger ga derfor altfor store endringer over de kommende seks timene, og resultatet var svært langt fra det som i ettertid ble observert.

2.3 Norske bidrag til verdens første vellykkede numeriske værvarsel

Da man fikk tilgjengelig en elektronisk regnemaskin i USA (som til slutt ble Electronic Numerical Integrator and Computer, ENIAC) for å gjøre slike beregninger like etter andre verdenskrig, var forskerne klar over at urealistiske lyd- og tyngdebølger (kalt «meteorologisk støy» av Jule Charney) måtte kontrolleres for at de ikke fullstendig skulle maskere de mønstrene som hadde betydning for været.

En særdeles interessant førstehånds, men til dels anekdotisk, fortelling om fødselen av numerisk beregning av værvarslere og den faglige utvikling årene etter i USA, ble foredratt i forbindelse med USAs 200-årsjubileum i 1976 av Philip Duncan Thompson. Foredraget ble syv år senere gjengitt i *Bulletin of the Atmospheric Meteorological Society*.¹¹

9 Richardson, L.F., 1922. *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge University Press.

10 Lynch, P., 2006. *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*, Cambridge University Press, 279pp.

11 Thompson, Ph.D., 1983. A History of Numerical Weather Prediction in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 755–769.

En annen relevant kilde for det som påvirket utviklingen av NWP og dynamisk meteorologi i Norge etter krigen, er doktoravhandlingen til Thorleif Aass Kristiansen fra 2017¹²). Alle med interesse for meteorologi og værvarsling vil ha glede av disse to kildene, om ikke annet for å få innblikk i store og små trivialiteter bak en monumentalt viktig faghistorie.

Like etter andre verdenskrig ble ENIAC-maskinen tilgjengelig for vitenskapelige formål, og det var planlagt å installere en kraftigere maskin nr. 2 ved Institute for Advanced Study ved Princeton-universitetet i New Jersey i USA. Den berømte matematikeren John von Neuman, som var sentral i arbeidet med å utvikle verdens første programmerbare regnemaskiner, fikk i oppdrag å finne et vitenskapelig tema som var passende for den nye teknologien. Valget falt på numerisk beregning av værvarsler. Detaljene bak opprettelsen av prosjektet kan leses i nevnte publikasjon av Thompson.

Det grunnleggende matematiske apparatet var formelt basert på teorien til Vilhelm Bjerknes, men etter Richardsons mislykkede forsøk 30 år før, forsto flere forskere at ligningene ikke kunne anvendes direkte. John von Neumann knyttet til seg Jule G. Charney, som nylig hadde avlagt doktorgrad i dynamisk meteorologi og hadde gjort et viktig gjennombrudd i forståelsen av lange sykklonbølger på vestavindbeltene utenfor tropene. Avhandlingen ble avlagt i 1946 ved University of California at Los Angeles (UCLA) med Jack Bjerknes, Vilhelms sønn, som veileder.

Det var derfor ikke helt uventet at Charney besøkte Universitetet i Oslo noen måneder i 1947–48, på tross av forholdene i Norge etter krigen. Formålet var opprinnelig å besøke Halvor Solberg, men siden Solberg selv var på reise i USA, bestemte Charney seg for først å være et halvt års tid hos Carl-Gustaf Rossby i Chicago der det var et produktivt fagmiljø.

I Oslo ble miljøet rundt Einar Høiland viktig for Charney. Der ble han kjent med de norske forskertalentene Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtoft. De arbeidet ved Meteorologisk institutt og deltok i seminarer og diskusjoner hos Høiland mens de arbeidet med sine doktoravhandlinger. Sverre Pettersen var ansvarlig for det første meteorologiske laboratoriekurset (værkartanalyse m.m.) ved UiO, og Fjørtoft og Eliassen var blant de første som tok dette kurset like før krigen. Både Fjørtoft og Eliassen fikk erfaring fra praktisk daglig

12 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*, PhD-avhandling, Universitetet i Bergen.

værvarsling ved Meteorologisk institutt samtidig som de arbeidet med teoretiske problemstillinger. Charney forteller at han hadde liten kontakt med Solberg, men gir svært godt skussmål til miljøet rundt Høiland, og særlig Eliassen og Fjørtoft:¹³

It turned out that when I came to Oslo I think that Solberg ... was very much involved with university affairs. And he gave me an office next to his, but we had essentially no scientific discussions. ... and, uh, by this time I had ... had been introduced to Eliassen and Fjørtoft and Holland and found them a very congenial active group and ... it just came about that I had very little contact with Solberg. But I don't consider that a misfortune since, uh, ... these three people more than made up for, anything I might have missed ... And, of course, V. Bjerknes was very much there.

Eliassen og Fjørtoft ble etter tur invitert til Princeton der de skulle være med på å utvikle eksperimentet med numerisk værvarsling. Et brev datert 4. november 1947 til Ph.D. Thompson (som da var i Princeton hos von Neumann), allerede flere måneder før oppholdet i Oslo var slutt, bekrefter at Charney ønsket å ha med nordmennene på prosjektet:

... it occurred to me that you might be able to use one of these bright young men. Eliasson has had a very good mathematical and physical training under V. Bjerknes and has worked on the problem of numerical computation. He is aware that the finite differences cannot be chosen arbitrarily and that the initial conditions propagate at a finite rate. He is also aware of the impossibility of integrating the equations of motion as they stand. In short he is not naive. Furthermore he is one of the best forecasters in Norway and so has a proper appreciation of the physical aspects of the problem. Fjørtoft is damn good also, but he is not available.

Det er interessant å se nærmere på Charneys og Eliassens opplevelser av situasjonen under Charneys opphold i Oslo i forkant av Princeton-prosjek-

13 Platzman, G.W., 1987. *Conversations with Jule Charney*, NCAR/TN-298+PROC, Nov. 1987; 169 pp. Side 78–79.

tet. Overraskende nok gir Kristiansens avhandling inntrykk av at den faglige kommunikasjonen mellom Eliassen og Charney kunne ha vært bedre. I retrospekt virker dette bemerkelsesverdig siden de begge arbeidet med å utvikle forenklede versjoner av V. Bjerknes' generelle ligninger. Ligningene måtte manipuleres til å filtrere vekk «meteorologisk støy» som løsninger. Imidlertid hadde de ulike måter å angripe problemet på. Charney beskriver sin egen tilnærming som pragmatisk og observasjonsbasert, og Eliassens som mer stringent matematisk i tråd med «Osloskolen» til Solberg og Høiland¹⁴ (litt redigert):

I think his paper actually came out after I left Oslo. But I think it must have been in seminars or in conversations that I became aware of it. But I somehow, uh, regarded it as perhaps a formalistic approach and, um, and I think that the, uh, ... and never took it very much ... ever made use of it or even took the trouble to compare the results that one might obtain with it, uh, with those that one obtained with the quasige... quasi-geostrophic equations.

... the Eliassen equations were an intermediate step in some sense. But later on, ... it became apparent to me that the equations that Hoskins was using were Eliassen's equations, and ... I think I coined the term «semi-geostrophic», since we had been using ... the term «quasigeostrophic» for my equation.

I think in Eliassen's case, um ... and I think Fjortoft too, later on, used basically ... what were Eliassen's equations and showed that they are fundamentally much more accurate than, um, the quasi-geostrophic equations, especially when you have things like fronts.

And I don't remember Eliassen and I actually discussing, uh, comparing the two formulations. As you say, they were both published in [Geofysiske Publikasjoner (GWP)] ... totally independently.

14 Platzman, G.W., 1987. *Conversations with Jule Charney*, NCAR/TN-298+PROC, Nov. 1987, s. 76–78; og Eliassens kommentarer, s. 152–154.

Eliassen bekrefter langt på vei Charneys framstilling i sine kommentarer til transkripsjonene, der han også medgir en betydelig usikkerhet og beskjedenhet på egne vegne:

It is right as Jule said in the interview that he first became acquainted with my quasi-geostrophic (as I called it) method through seminars and conversations – my English manuscript was not finished until after he left Norway early in 1948. The transcript confirms my impression that he didn't show much interest in this part of my work; in fact, I am not sure that he quite understood it at the time. This is perhaps not surprising, since my explanations must have been very poor; I don't think I recognized then that one of my equations was in fact a kind of quasi-geostrophic vorticity equation. Besides, I had great difficulties in expressing myself in English, as well as understanding spoken English.

When I worked with frontal circulations later in the fifties, however, I came to the conclusion that the geostrophic momentum equations were perfectly suited for this purpose since they contained the all-important advection of entropy and momentum by the cross-frontal ageostrophic, divergent velocity component, which was ignored in Jule's quasi-geostrophic equations. It is clear from the transcript that Jule ultimately, after the Hoskins and Bretherton papers, came to the same conclusion.

Charneys kvasigeostrofiske ligninger¹⁵ benyttet grovere forenklinger, men var enklere å anvende i praksis enn Eliassens geostrofiske momentapproksimasjon.¹⁶ Charneys ligninger ble brukt i det første numeriske eksperimentet. Eliassens semigeostrofiske ligninger som inkluderte dynamisk viktige ageostrofiske effekter og var vesentlig mer nøyaktige, ble senere hovedsakelig anvendt i teoretiske arbeider i dynamisk meteorologi, slik som i studier av frontogenese og transversale sirkulasjoner ved jetstrømmer (av Eliassen selv og f.eks. av briten Brian Hoskins).

15 Charney, J.G., 1948. On the scale of atmospheric motions, *Geofys. Publ.*, 17.

16 Eliassen, A., 1949. The quasi-static equations of motion with pressure as independent variable, *Geofys. Publ.*, 17.

Da Eliassen var i Princeton i 1948–49, var det tekniske problemer med regnemaskinen som var installert i Princeton. Kommunikasjonen med Charney var neppe lenger noe problem, i den grad den hadde vært det i Oslo, for de samarbeidet godt om analytiske beregninger av stasjonære lange, planetariske Rossby-bølger som oppstår når vestavindsbeltet på den nordlige halvkule passerer over Rocky Mountains og Himalaya-massivet. Slike kan tidvis gi opphav til resonansfenomener som skaper persistent (langvarig) vær i visse regioner (for eksempel blokking av den normalt østgående forflytning av lavtrykk på midlere breddegrader), og er potensielt viktige for at vær tidvis kan varsles mange dager framover med god treffsikkerhet. Arbeidet resulterte i en klassiker av en vitenskapelig artikkel.¹⁷

Eliassen vekslet opphold ved Princeton med Fjørtoft (1949–50), men Princeton-maskinen var ennå ikke i orden, og de valgte til slutt å likevel bruke den langsommere ENIAC som var installert i Aberdeen i Maryland, USA.¹⁸ Ligningene for luftpartiklers bevaring av absolutt virvling midt i atmosfæren ble formulert på en måte som lot seg programmere. Alle prosesser i atmosfæren var representert ved kun én variabel, nemlig høyden av 500 hPa-flaten. Bakgrunnen for dette valget var publisert av Charney.¹⁹ Hvis den horisontale vinden endrer styrke, men ikke retning med høyden, fins et «ekvivalent-barotrop nivå» nær 500 hPa-flaten. Der er den horisontale vind nesten uten divergens, og kvasigeostrofisk står vi igjen med kun én ligning å løse. Fra den beregnes tidsutvikling av høyden av 500 hPa-flaten.

Det er verdt å merke seg at å representere atmosfærens dynamikk med ett trykknivå, er en mindre brutal forenkling enn Rossbys antagelse som lå til grunn for hans berømte formel for planetariske bølger. Rossby antok at tettheten er den samme entydige funksjon av trykket for alle luftpartikler – av V. Bjerknes kalt «autobarotropi» – som medførte ingen vertikalbevegelser eller horisontal vinddivergens. Til sammenligning antok ikke

17 Charney, J.G. & Eliassen, A., 1949. A numerical method for predicting the perturbations of the middle latitudes westerlies, *Tellus*, 1, 38–54.

18 Intervju med Ragnar Fjørtoft i ND News, No. 6, December 1972, Special Issue on Meteorology. 40 pp. A/S Norsk Data-Electronic.

19 Charney, J.G., 1949. On a physical basis for numerical prediction of large-scale motions in the atmosphere., *J. Meteor.*, 6, 371–385.

Charneys modell noe om vindens divergens i andre nivåer enn i 500 hPa-flaten.²⁰ Eliassen hadde diskutert dette med Rossby selv:²¹

... I did not understand then – I didn't see what relevance the non-divergent dynamics had to the atmosphere. Rossby himself was not very clear – he gave a lecture in Oslo in 1946, and justified the non-divergent condition by referring to the small depth of the atmosphere compared with the earth's radius – a rather irrelevant argument.

Basert på observasjoner tatt ved ett tidspunkt innenfor et begrenset område på den nordlige halvkule, ble høyden av 500 hPa-flaten kartlagt i et regulært rutenett. Denne *analysen* ble utgangspunktet for at maskinen kunne kodes til å beregne et 24-timers værvarsel – *prognosen* – for høyden av 500 hPa-flaten, uten menneskelig inngripen.

Beregningen var vellykket, og dette ble selvsagt kjent i de fagmiljøene før arbeidet ble formelt publisert i den berømte artikkelen av Charney, Fjørtoft og von Neumann.²² At det ikke var «meteorologisk støy» i prognosen var viktig, men enda viktigere var det at den beregnede 24-timersprognosen hadde flere vesentlige likheter med den etterfølgende analysen på prognosetidspunktet («verifikasjonen») enn med analysen 24 timer tidligere.

-
- 20 *Forklaring av noen begreper*: Ordet «barotrop» brukes når den romlige variasjonen til en fysisk størrelse (her temperatur) er sammenfallende med trykkets romlige variasjon. Når en størrelse ikke er barotrop, omtales den som «baroklin», og hvis for eksempel temperaturen er baroklin, kan den geostrofiske vind i det generelle tilfelle transportere luft med ulik temperatur (varmluftadveksjon og kaldluftadveksjon), som igjen kan gi opphav til vertikalbevegelse og nedbørdannelse (ved oppstigning) eller uttørring (ved nedsynking). Det V. Bjerknes kalte «autobarotropi», var når luftas temperatur og massetetthet *alltid* er en entydig funksjon av trykket. En geostrofisk vind kan da aldri transportere luft av ulik temperatur. I Charneys «ekvivalent-barotrope» modell er ikke temperaturen en entydig funksjon av trykket, men siden vindretningen ikke varierer med høyden, kan den geostrofiske vind heller ikke transportere luft av ulik temperatur, altså en konsekvens som ligner på autobarotropi.
- 21 Platzman, G.W., 1987. *Conversations with Jule Charney*, NCAR/TN-298+PROC, Nov. 1987. Eliassens kommentarer, side 155. Eliassen fortalte også uformelt om dette på Inst, for geofysikk, UiO, på 1970-tallet.
- 22 Charney, J.G., Fjørtoft, R. & von Neumann, J., 1950. Numerical integration of the barotropic vorticity equation. *Tellus*, 2, 237–254.

Underveis i beregningene måtte ENIAC kontinuerlig følges opp av operatører og programmerere²³ og brukte 24 timer på selve beregningen. Som værvarsel hadde ikke beregningene noen praktisk nytte, men innebar et prinsipielt gjennombrudd for fagfeltet *numerisk værvarsling* (ofte forkortet fra engelsk til *NWP*). Med tilgang på raskere regnemaskiner og bedre programmering av effektiv kode kunne man fortsette å utvikle numerisk værvarsling til et nyttig verktøy.

2.4 Faglige og teknologiske betingelser for NWP på 1950-tallet

I tillegg til de to nevnte hovedkildene (Thompson og Kristiansen) er Anders Perssons tre artikler om utviklingen av NWP utenfor USA lesverdige. Ikke minst diskuterer Persson flere enn de rent vitenskapelige og teknologiske forutsetningene for tidlig NWP-utvikling.²⁴

Det kan ikke understrekes nok hvor viktig tilgang på elektronisk regnekraft ble for meteorologi og oseanografi i løpet av de første 2–3 tiårene etter gjennombruddet i Princeton i 1950. Numeriske løsninger av de termofluid-dynamiske ligninger er sammen med avanserte observasjoner det viktigste redskap både for grunnleggende forskning i academia og for videreutvikling av NWP og numeriske modeller for klima og miljø. Dette skyldes at de generelle ligningene er ulineære og koblede slik at klassiske løsninger som kan drøftes analytisk, sjelden er mulig å finne. Grunnforskning og utvikling av nyttige anvendelser er gjensidig berikende og viktig for disse fagfeltene. Dette gjelder både for utvikling av relevant kompetanse og tilgang på elektroniske regnemaskiner, og var tydelig allerede i NWP-utviklingens spede begynnelse på 1950-tallet.

-
- 23 Platzman, G.W., 1979. The ENIAC computations of 1950 – Gateway to numerical weather prediction. *Bull. American Meteorol. Soc.*, 60, 302–312; Fjørtoft fortalte anekdotisk mange år senere (på 1970-tallet) at radiatorer stadig måtte skiftes og at fagfolkene måtte være med og vurdere restarting av beregningene underveis.
- 24 Persson, A., 2005. Early operational Numerical Weather Prediction outside the USA: an historical Introduction. Part I: Internationalism and engineering NWP in Sweden, 1952–69; *Meteorol. Appl.*, 12, 135–159; Part II: Twenty countries around the world. *Meteorol. Appl.*, 12, 269–289; Part III: Endurance and mathematics – British NWP, 1948–1965; *Meteorol. Appl.*, 12, 381–413.

2.4.1 USA: Princeton-prosjektets fortsettelse

I USA fortsatte en betydelig utvikling av NWP de første årene etter Princeton-gjennombruddet i 1950, men det tok noen år før NWP kunne få praktisk nytte i daglig værvarsling. Videre utvikling av programmerbare regnemaskiner var nødvendig, og forenklingene av atmosfærefysikken i Princeton-modellen var svært grove. Modellen kunne ikke beregne transport av luftmasser med ulik temperatur og kunne ikke nydanne eller dissipere absolutt virvling. Sagt på en annen måte, den kunne simulere lange planetariske Rossby-bølger (jf. Charney og Eliassen, 1949), men ikke de barokline bølgene som Charney hadde tatt doktorgrad på, og heller ikke frontalsyklonene som var kjent fra Bergensskolen.

De kvasigeostrofiske ligningene var brukt fordi de utelukket lyd- og tyngdebølger, men de var også resultat av tilnærminger som medfører betydelige unøyaktigheter. Ligningene kan beregne ageostrofiske og vertikale vindkomponenter i en modell med to eller flere nivåer, men disse komponentene inngår ikke når transport (adveksjon) beregnes. Dette gir raskt betydelige feil i den beregnede utvikling av vær fenomener knyttet til fronter og jetstrømmer.

Utover på 1950-tallet ble det forsket på å utvikle numeriske modeller med mindre grove antagelser. Både *barokline modeller med flere nivå eller lag* i vertikalretningen og *mer avanserte ligninger enn de kvasigeostrofiske* ble foreslått og studert. I tillegg ble det utviklet metoder for *objektiv numerisk analyse* av observasjoner til bruk for å beregne nøyaktige startbetingelser. Mer nøyaktige *skjemaer for diskretisering* av differensialligninger ble også studert. Samtidig var mange utålmodige mht. å høste fruktene av gjennombruddet i 1949–50 i operasjonell daglig NWP.

Amerikaneren Norman Phillips ga mange viktige bidrag i pionertiden for NWP på 1950-tallet. I 1951 foreslo han en tolagsmodell for atmosfæren som han brukte til analytiske studier. I 1953 formulerte han sammen med Charney en generalisering av tolagsmodellen til et vilkårlig antall lag, og de gjorde numeriske beregninger med tolagsmodellen med kvasigeostrofiske ligninger.²⁵ I 1956 brukte han en versjon av denne modellen utvidet med forenklet friksjon og ikke-adiabatiske prosesser (varmeoverføring), til å simu-

25 Charney, J.G. & Phillips, N.A., 1953. Numerical integration of the quasigeostrophic equations for barotropic and simple baroclinic flows., *J. Meteor.*, 10, 71–99.

lere den generelle sirkulasjon på den nordlige halvkule.²⁶ Modellen ble kjørt til den brøt sammen på grunn av langtidseffektene av trunkasjonsfeil (representasjonen av reelle tall i datamaskiner har et begrenset antall sifre), og han beregnet budsjetter for omsetning av energi og bevegelsesmengde. Den kan regnes som den første klimamodell som er kjørt på regnemaskin. I 1959 beskrev han en type numerisk instabilitet som skyldes aliasfeil av energi som hopes opp på kortere romlig skala enn det maskevidden i gitteret kan beskrive (subgrid skala), på grunn av ulineære ledd i ligningene.²⁷ Slike feil kan holdes i sjakk med selektiv demping av de korteste bølgene.

I 1954 ble Joint NWP Unit (JNWPU) organisert ved U.S. Weather Bureau i Washington med George P. Cressman som leder. Hensikten var å modernisere værtjenesten i tråd med relevante vitenskapelige framskritt. De satset raskt på å etablere en operasjonell produksjon med NWP.²⁸ De første operasjonelle beregningene ble gjort i mai 1955 med en trelags modell designet av Charney.²⁹ Prognosene var imidlertid ikke gode, og først i 1958 tilførte operasjonell NWP fra JNWPU positive bidrag til den daglige værtjenesten i USA. I den historiske artikkelen fra 1989 understreker Shuman allikevel at de tre årene (1955–58) ikke var bortkastet:

Although disappointing at the time, this was key to future success, and was the immediate and essential result of the decision by JMC to go operational. This «baptism by fire» immediately utilized the talents of the modeler, the judgment of the practicing synoptician, and the skills of the computer programmer. It established patterns of motivation with attention centered on accuracy and timeliness of delivery. This concentration of effort was a product of the operational environment.

The payoff came in 1958 when the problems were identified and solved, a suitable automatic analysis system was invented, and automatic data handling was developed.

-
- 26 Phillips, N.A., 1956. The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 82, 357–361.
- 27 Phillips, N.A., 1959. An example of non-linear computational instability. In: *The Atmosphere and the Sea in Motion*. B. Bolin (red.), Rockefeller Institute Press, New York, s. 501–504.
- 28 Shuman, F.G., 1989. History of Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center. *Weather and Forecasting*, 4, 286–296, s. 287.
- 29 Charney, J.G., 1954. Numerical prediction of cyclogenesis. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 40, 99–110.

Det var altså en læringsprosess som involverte forskere bak modellene, værvarslere (synopticians) og programmerere, og dette genererte en grunnleggende forståelse av hva som kreves for å kjøre kompliserte operasjonelle rutiner i sann tid. Dette har siden vært grunnfjellet for helt eller delvis automatisert operasjonell varsling ved meteorologiske institutter og værvarslingssentre verden rundt. Det ble også klart demonstrert at resultater fra NWP ikke kunne erstatte værvarslerne, men måtte brukes som et hjelpemiddel for å manuelt utvikle prognoser:

Skillful, timely numerical predictions were delivered to central forecasters, who in turn used them as guidance for their own manually prepared prognostic charts.

Det skulle ta ytterligere 3–4 dekader før man med realisme kunne se for seg automatisk genererte værvarslere basert på NWP. Ved JNWPU hadde man gått tilbake til å kjøre en barotrop modell med ett nivå i 1958. Med den forståelsen man hadde for hvor viktig vertikale variasjoner var for utvikling av virvling og bevegelsesenergi i stormer, var dette frustrerende. NWP-forskning og modellutvikling var ennå kun i en tidlig startfase.

2.4.2 Skandinavia: Rossby og Stockholmprosjektet

Men det var slett ikke bare amerikanere som ledet utviklingen av NWP. I sitt historiske foredrag om utviklingen av NWP oppsummerer Ph.D. Thompson statusen for de ledende faglige miljøene for NWP tidlig på 1950-tallet:³⁰

... by 1952, there were no less than four sizeable research groups who were concentrating on the problem, namely: the Meteorology Project at the Institute for Advanced Study, the Atmospheric Analysis Laboratory of AFCRL, the Napier Shaw Laboratory of the British Meteorological Office, and the International Meteorological Institute of the University of Stockholm, working in cooperation with the University of Oslo. The development of numerical prediction had become an organized and well-supported research movement, comprising a substantial fraction of the

30 Thompson, Ph.D., 1983. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 755–769. Side 761.

total meteorological research effort. Let us admit at once, however, that this would not have happened without collateral advances in the technology of computing, communications, and numerical analysis.

Thompson løftet fram tre skandinaver som særlig hadde bidratt til utviklingen av NWP i USA:³¹

Beyond providing a clear goal and a sound physical approach to dynamical weather prediction, V. Bjerknes instilled his ideas in the minds of his students and their students in Bergen and Oslo, three of whom were later to write important chapters in the development of numerical weather prediction in the United States. We shall refer to Rossby, Eliassen, and Fjørtoft later.

Siden Thompson nevner Rossby, Eliassen og Fjørtoft i samme åndedrag, er det interessant å sammenligne den tidlige utviklingen av NWP i Norge og Sverige. Karrierene til disse tre var, som Charneys og Thompsons, i sin tur direkte eller indirekte positivt influert av V. Bjerknes og fagmiljøene etter ham og hans elever. Rossbys opphold hos V. Bjerknes 1919–20 da Bergensskolens ideer var under modning, skal ha vært avgjørende for hans videre faglige karrierevalg. Eliassen og Fjørtoft var særlig inspirert av Carnegie-assistenten E. Høiland og til dels V. Bjerknes selv, Charney og Thompson hadde utdannelse fra UCLA hos J. Bjerknes og J. Holmboe, og Charney skrot av miljøet rundt Høiland og diskusjoner med V. Bjerknes (som da var en levende legende) da han var i Oslo i 1947.³²

Rossby var 15–17 år eldre enn henholdsvis Fjørtoft og Eliassen som akkurat hadde avlagt doktorgrad da de etter tur ble invitert til NWP-prosjektet i Princeton. Han var vel merittert som professor i Chicago allerede fra starten av andre verdenskrig. Han var en inspirator med betydelige evner og vilje til faglig entreprenørskap,³³ og han var med i tidlige faser av de faglige diskusjonene om NWP-prosjektet i Princeton. Han skal ha bidratt til at Jack

31 Thompson, Ph.D., 1983. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 755–769. Side 756.

32 Platzman, G.W., 1987. *Conversations with Jule Charney*, NCAR/TN-298+PROC, Nov. 1987. s. 76–78.

33 Thompson, Ph.D., 1983. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 755–769. Side 758.

Bjerknes, Jørgen Holmboe, Sverre Pettersen og Harald U. Sverdrup kom til USA.³⁴ Internasjonalt var norske atmosfæreforskere blant de fremste, men på 1950- og 1960-tallet var det langt på vei de faglige posisjoner den forrige generasjon norske forskere hadde i USA, som skapte muligheter for unge norske talenter.

Fra 1947 var Rossby med på å grunnlegge det som etter hvert ble Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) i Stockholm (i dag i Norrköping). Han ble professor ved Stockholms universitet, og det var i denne rollen han la grunnlaget for og sterkt bidro til at Sverige ble det første landet i verden med operasjonell NWP allerede høsten 1954. Dette var et halvt år før USA og mange år før Norge. Persson nevner at denne svenske suksessen kunne skyldes tre viktige elementer:³⁵

Three factors contributed to the early development of NWP in Sweden: Carl Gustaf Rossby's return in 1947; the development of state-of-art computers; and, not least, international scientific and economic support.

Den elektroniske regnemaskinen «BESK» (Binär Elektronisk Sekvens Kalkylator)³⁶, som etter datidens målestokk var svært kraftig, ble utviklet i Sverige og ble operativ i 1953, selv om den var ustabil i starten. Samfunnsøkonomien i Sverige og Norge var ikke sammenlignbar de første tiårene etter andre verdenskrig, og en lignende teknologisk utvikling i 50-tallets Norge var ikke mulig. Den første maskinen til matematiske beregninger i Norge, «NUSSE» (Norsk Universell Siffermaskin Selvstyrt Elektronisk), ble utviklet ved Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) og var mer eller mindre operativ 1954–1961.³⁷ Maskinen var tilgjengelig for forskere ved UiO, men kunne ikke måle seg med BESK verken i teknisk kvalitet eller egnethet for NWP.³⁸ Norge fikk sin første elektroniske regnemaskin dedikert til bruk for meteorologiske beregninger i 1960 (FACIT EDB 3).

34 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*, PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 44.

35 Persson, A., 2005. Early operational Numerical Weather Prediction outside the USA: an historical Introduction. Part I: Internationalism and engineering NWP in Sweden, 1952–69; *Meteorol. Appl.*, 12, 135–159. Side 135.

36 BESK Binär Elektronisk Sekvens Kalkylator (treinno.se)

37 NUSSE – Store norske leksikon (snl.no)

38 NUSSE kunne utføre 500 addisjoner per sekund, og BESK 17 800.

I Stockholm fortsatte Rossby som den faglige inspirator han også hadde vært i Chicago. Inspirasjonen og entreprenørskapet hadde ringvirkninger langt utenfor Stockholm. Han samlet i 1952 en rekke ledende forskere til et prosjekt ved Stockholms universitet for å presentere og utvikle ideer til NWP.³⁹ Eliassen var en av prosjektlederne⁴⁰ og andre norske forskere bidro også. Få år senere (1955) hadde Rossby sikret midler til å grunnlegge et mer langsiktig International Meteorological Institute (IMI), som gjorde det mulig å invitere utenlandske forskere til opphold av ulik varighet.⁴¹ IMI eksisterer ennå (2022) ved MISU i Stockholm.⁴² Blant dem som var assosiert med og hadde opphold av varierende lengde ved Rossbys prosjekt fram mot den operasjonelle NWP fra 1952 til 1955, var foruten Eliassen og svenske Bert Bolin (som begge var prosjektledere), K. Hinkelmann og E. Kleinschmidt (Tyskland), E. Hovmøller (Danmark), G. Arnason og P. Bergthorsson (Island), C. Newton og N.A. Phillips (USA), O. Haug (Norge) og B. Döös (Sverige).

Planene i Sverige var basert på artikkelen som Bolin skrev sammen med Charney i 1951.⁴³ Artikkelen var en første videreføring av Princeton-prosjektet med tendensberegninger for 10 værsituasjoner. Bolin ble sentral i den vellykkede operasjonelle NWP ved SMHI fra 1954. Ennå ble tendensen for bare ett nivå (500 hPa) beregnet, men etter hvert ble det utviklet en mer avansert balansebetingelse enn den kvasigeostrofiske. Den kvadratiske balanse-ligningen tok bl.a. hensyn til sentrifugalkraften i virvler når vinden ble beregnet. Charney publiserte samme utvidelse parallelt med Bolin, og i det store NWP-symposiet i 1960 foreslo Charney ytterligere utvidelser for beregning av tendenser i virvling og temperatur.⁴⁴ Eliassen var gjesteforsker hos

39 Staff Members of The Institute of Meteorology, 1952. Preliminary Report on the Prognostic Value of Barotropic Models in the Forecasting of 500 mb Height Changes, *Tellus*, 4, 21–30.

40 Wiin-Nielsen, A., 1991. The birth of numerical weather prediction, *Tellus A*, 43, 36–52.

41 Persson, A., 2005. Early operational Numerical Weather Prediction outside the USA: an historical Introduction. Part I: Internationalism and engineering NWP in Sweden, 1952–69; *Meteorol. Appl.*, 12, side 140.

42 <https://www.misu.su.se/svenska/the-international-meteorological-institute-in-stockholm-imi/visitors-program>

43 Bolin, B. & Charney, J., 1951. Numerical tendency computations from the barotropic vorticity equation. *Tellus*, 3, 248–257.

44 Charney, J.G., 1962. Integration of the primitive and balance equations. *Proc. Symp. Numerical Weather Prediction*, Tokyo, 131–152.

J. Bjerknes ved UCLA da svenskene fikk i gang sine operasjonelle prognoser. Imidlertid var Odd Haug (senere leder for DNMI's edb-avdeling) med da de numeriske varslene opp til 72 timer ble laget operasjonelt for det svenske luftforsvaret.

2.5 Utviklinger i Norge 1950–1980

Det går ingen «rød tråd» fra norsk deltagelse i det vellykkede NWP-eksperimentet i 1950 til 1980-tallet da DNMI utviklet det første helnorske operasjonelle NWP-systemet med direkte beregning av værelementer. Som et bakteppe skal man være klar over at det i de første tiårene etter krigen heller ikke internasjonalt var noen bred konsensus om at NWP var den nyvinningen som skulle forbedre værvarslingen. Først fra slutten av 1960-tallet av ble det klart at numerisk modellering og NWP skulle bli lokomotivet for modernisering av værvarslingen, men det hører til en av de største gåtene i norsk meteorologihistorie at Norge valgte å pense av den utviklingen ved å stå utenfor det europeiske værserveret (ECMWF) helt fram til 1989.⁴⁵

Selv ikke i USA eller i Sverige utløste de første suksesshistoriene noen umiddelbar satsing på NWP som grunnlag for daglig værvarsling. Det trengtes vesentlig etterarbeid av meteorologer for å «oversette» en NWP-prognose for én eller noen få trykkflater til værvarsler, og man så ingen umiddelbar nytte for den daglige værtjenesten. Bruk av statistiske modeller var foreslått av den kjente statistikeren Norbert Wiener, og Ed Lorenz ble prosjektleder for dette da han ble professor ved Massachusetts Institute of Technology (MIT) i 1955.⁴⁶ Også i Sverige var det betydelig skepsis til Rossbys NWP-prosjekt, som bl.a. kom til syne da Alf Nyberg ble direktør for SMHI i 1954.⁴⁷ Nyberg ble imidlertid ganske raskt overbevist om å satse på NWP da han ble direktør.

45 Hov, Ø. & Eliassen, A., 2021. *Veien til Norges medlemskap i ECMWF*. Meteorologisk institutt, Artikkel i denne boken.

46 <http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/lorenz-edward.pdf> (side 14–15)

47 Persson, A., 2005. Early operational Numerical Weather Prediction outside the USA: an historical Introduction. Part I: Internationalism and engineering NWP in Sweden, 1952–69; *Meteorol. Appl.*, 12, side 148.

2.5.1 1950-tallet: ingen norsk regnemaskin

Det er ingen tvil om at norske forskere hadde fremragende kompetanse til å utvikle NWP på 1950-tallet. Med Eliassen og Fjørtoft som sentrale i det første vellykkede eksperimentet og etter hvert, for Eliassens del, til utviklingen av NWP i USA og Sverige, er det ikke unaturlig å tenke seg at Norge skulle ha gått i bresjen for operasjonell NWP. På ulikt vis skjedde også dette, dog ikke i konkurranse med Rossbys senter, men snarere gjennom faglig samarbeid med dette.

Om vi som et tankeeksperiment ser bort fra de samfunnsøkonomiske ulikhetene, hvem kunne fylt en lignende rolle for NWP i Norge som Rossby gjorde i Sverige på 1950-tallet? Mange av de viktigste fagfolkene som hadde virket i Bergen da polarfrontmodellen ble utviklet, var nå flyttet til USA (J. Bjercknes, S. Pettersen), Sverige (T. Bergeron, C.G. Rossby returnert fra Chicago) eller Oslo (V. Bjercknes, H. Solberg).

Som professor i teoretisk meteorologi i Oslo arbeidet Solberg med grunnforskningspregede problemer, blant annet teori for hvordan Bergensskolens polarfrontbølger kan vokse til sykloner. Han var ikke tilhenger av å forenkle de styrende ligningene før de anvendes, noe som gjorde analysene hans unødvendig kompliserte.⁴⁸ Mht. NWP var dessuten erfaringene fra Richardsons eksperiment at forenklinger måtte til. De første par tiår, inntil Arnt Eliassen fikk lektorat ved Universitetet i Oslo i 1953, var Solberg alene ansvarlig for meteorologutdannelsen i Oslo og han veiledet svært mange studenter. Han var dessuten sterkt involvert i universitetsadministrasjon, som dekanus en periode og i komiteer for bl.a. å få tilgang til elektroniske regnemaskiner.⁴⁹ Han var dessuten generalsekretær i Det Norske Videnskaps-Akademi fra 1946 til 1954.

I Bergen hadde Carl Ludvig Godske overtatt professoratet som J. Bjercknes hadde forlatt da han reiste til USA før krigen. Han grunnla en helt annen faglig retning der (lokal og statistisk meteorologi). Harald U. Sverdrup ble direktør for polarinstituttet og professor II i Oslo. Jack Bjercknes, som hadde tilsvarende faglig pondus som Rossby, var ikke involvert i diskusjonene

48 Eliassen, A., 1996. A brief historical account of hydrodynamic research at the University of Oslo. In: *Waves and Nonlinear Processes in Hydrodynamics*. J. Grue mfl. (red.). Kluwer Academic Publishers, 3–14. side 6.

49 Jf. artikkel i Norsk biografisk leksikon.

rundt NWP i samme grad som Rossby. Både han og den litt yngre Sverre Pettersen var faglige ledertyper, men begge hadde hovedsakelig bakgrunn i analyse av data (synoptikk) og i mindre grad den matematisk baserte teorien bak NWP. J. Bjerknes ble i USA, mens Pettersen var i Norge og underviste værkartanalyse, varslet været bl.a. under krigshandlingene fra London, og ble riksværvarslingssjef ved Meteorologisk institutt 1945–48. Han dro tilbake til USA i 1948.

Det er ganske oppsiktsvekkende at J. Bjerknes (ved UCLA) hadde gitt Ph.D. Thompson i oppgave å utvikle numeriske beregninger av trykkintensiteter ut fra vertikalt integrert vind-divergens. Thompson var student hos J. Bjerknes ved UCLA samtidig med og etter Charney. Han arbeidet flere måneder med denne oppgaven før han innså at prosjektet var dødfødt⁵⁰ pga. altfor store unøyaktigheter i beregning av vind-divergens ut fra vindobservasjoner. Siden Richardson hadde diskutert metoden allerede i 1922, forteller dette noe om at J. Bjerknes' faglige interesser og styrker ikke var på de felter som trengtes for NWP-utvikling. Faktisk var det J. Bjerknes' norske kollega ved UCLA, Jørgen Holmboe, som fikk Thompson til å kontakte von Neumann i Princeton, dit han raskt flyttet. Charney var da hos Rossby i Chicago som mellomstasjon før reisen til Oslo, og planleggingen av NWP-prosjektet var da allerede godt i gang.

Einar Høiland fremstår som den soleklart nærmeste til å spille lignende rolle i Norge som Rossby hadde i Sverige tidlig på 1950-tallet. Ved å lede *Vitenskaps-Akademiets Institutt for vær- og klimaforskning* ved Universitetet i Oslo fra 1950 til 1960 ble han den fremste til å sikre videreutvikling av V. Bjerknes' matematisk-fysiske tilnærming til faget i Norge. Senteret ble opprinnelig motivert av tørkesommeren 1947 da det ble en etterfølgende strømkriser på grunn av uttørkede vannmagasiner. Et viktig praktisk formål var å utvikle et vitenskapelig grunnlag for langtidsvarsler av slike vær fenomener,⁵¹ men senteret var langt fra noensinne å utvikle noe slikt. Dette er heller ikke vanskelig å forstå ut fra dagens kunnskap, som særlig er utviklet ved ECMWF og ved sentre for klimamodellering over de siste 2–3 dekadene.

50 Thompson, Ph.D., 1983. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 64, 755–769. Side 758 og 759.

51 WMO, 1996: The Bulletin interviews: Professor Arnt Eliassen. *WMO Bulletin*, 46, 309–316. October 1996.

Høilands senter formaliserte det som i praksis hadde fungert som et vitenskapelig tyngdepunkt ledet av Høiland siden slutten av 1930-tallet da han var Carnegie-stipendiat. Både Eliassen og Fjørtoft var klare på at Høiland var avgjørende for deres karrierevalg,⁵² og gjennom dem hadde Høiland indirekte gitt norske bidrag til den internasjonale NWP-utviklingen. Dessverre ble senteret lagt ned omtrent samtidig med at DNMI fikk en adekvat regnemaskin,⁵³ og man kan bare tenke seg hvilken betydning senteret kunne hatt for utvikling av numeriske beregninger og operasjonell NWP på 1960-tallet.

Det er ingen tvil om at Høilands evner til å tiltrekke seg og inspirere flinke talenter kan sammenlignes med dem V. Bjercknes hadde 20–30 år tidligere. En lang rekke yngre talenter vokste fram under Høilands ledelse og innflytelse, og mange ble profilerte fagfolk i meteorologi, oseanografi og fluiddynamikk: Enok Palm, Eyvind Riis, Arne Foldvik, Kaare Pedersen, Marius Tødsen, Eigil Hesstvedt, Yngvar Gotaas, Jack Nordø, Per Martin Breistein mfl. Det er ingen overdrivelse å hevde at Høiland og V. Bjercknes til sammen hadde avgjørende betydning for svært mye av det norske forskere bidro med innen teoretisk meteorologi og NWP på 40-, 50- og 60-tallet, det være seg i USA, til Stockholm-prosjektet og, selvsagt, i Norge.

Uten elektronisk regnemaskin tilgjengelig ble mye av den teoretiske forskningen i Høilands senter utført med papir og blyant som redskap. Eliassen nevnte dette mange år senere i flere sammenhenger, f.eks. da han fikk Balzanprisen for sitt livsverk i 1996.⁵⁴ Mye av forskningen i senteret før 1960 var teoretisk med matematisk fysikk som innfallsvinkel. Ny fysisk forståelse ble utviklet når nye observasjoner kom til og dynamiske fenomener i atmosfæren ble diskutert og analysert matematisk.

Arbeidene innen hydrodynamisk stabilitetsteori var svært langt framme, der Fjørtofts doktoravhandling⁵⁵ fra 1950 var spesielt grensesprengende. Han

52 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*, PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 56–57.

53 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*, PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 269–271.

54 <https://www.apollon.uio.no/artikler/1997/vaermann.html>

55 Fjørtoft, R., 1950. Application of integral theorems in deriving criteria of stability for laminar flows and for the baroclinic circular vortex. *Geofysiske publikasjoner*. 17, nr. 6.

publiserte i 1953⁵⁶ også et viktig arbeid om hvordan kinetisk energi i todimensjonal turbulens på jordkloden forplantes mellom virvler av ulik utstrekning. Eliassens forskning bidro særlig til økt forståelse av vestavindsbeltene utenfor tropene, dannelse og oppløsning av fronter i atmosfæren og stående bølger som dannes når luft strømmer over fjell. Dette økte forståelsen av sentrale trekk ved jordas klimasystem, og dermed til den utvikling og evaluering av globale numeriske klimamodeller som kom mange år senere. Hans bidrag var blant de første som ga vitenskapelig forståelse av persistente avvik (blocking) fra normalsituasjonen med vestavind på midlere breddegrader. Slike persistente systemer assosieres med økt risiko for tørke, og Eliassen bidro på den måten til det opprinnelige formålet med Høilands senter.

Utvikling av værtjenesten med NWP? Etter 1955 hadde Fjørtoft og Eliassen stillinger og selvstendig faglig status som normalt skulle tilsi betydelig ressursmessig innflytelse. Før han ble DNMI-direktør i 1955, var Fjørtoft professor i København fra 1952. Som direktør kunne han ha prioritert å utvikle operasjonell NWP dersom økonomien hadde gjort det mulig å anskaffe regnekraft og relevant teknisk kompetanse. Med Høilands senter, Eliassen som universitetslektor i teoretisk meteorologi fra 1953 og professor fra 1958 og Fjørtoft som direktør ved DNMI etter tre år som professor i København, var den meteorologifaglige kompetansen i Oslo svært solid, og det ville ikke vært unaturlig om universitetet og DNMI samarbeidet strategisk for å utvikle operasjonell NWP. I hvilken grad dette ble vurdert, eller om det på 1950-tallet i det hele tatt var rom for å påvirke myndighetene til nødvendige investeringer, er imidlertid høyst usikkert. Forskning og teknologisk utvikling til støtte for norsk industri og næringsliv som grunnlag for allmenn velstandsutvikling var, forståelig nok, prioritert i gjenreisingsårene etter krigen.

Eliassen foreslo flere metoder til numeriske beregninger av atmosfærens dynamikk og optimal utnyttelse av observasjonsdata for kartlegging av begynnelsestilstanden for numeriske prognoser. At metodene ikke var programmert og testet ut på regnemaskin, var muligens en grunn til at det meste aldri ble publisert i åpne vitenskapelige tidsskrifter, men ble presentert i tek-

56 Fjørtoft, R., 1953. On the change in the spectral distribution of kinetic energy for twodimensional non-divergent flow, *Tellus*, 5, 225–230.

niske notater og rapporter. Det er særlig fire av Eliassens forslag på 1950-tallet som peker seg ut.

Blant de mange artiklene som ble publisert i *Tellus* fra prosjektet hos Rossby i Stockholm i 1952, var Eliassens analyser med en atmosfæremodell med to trykknivåer («toparametermodellen»).⁵⁷ I motsetning til tolagsmodellen til Phillips fra 1951,⁵⁸ antok ikke Eliassen at atmosfæren besto av to homogene væskelag. Det er ganske oppsiktsvekkende at det later til å være glemt at Sigurd Smebye, senere kjent i Norge som TV-meteorolog, gjorde numeriske beregninger med denne modellen ut fra analyserte værobservasjoner. Hans publikasjon tidlig i 1953⁵⁹ kom parallelt med eller i forkant av artikkelen til Charney og Phillips⁶⁰ som ofte regnes som det første vellykkede tredimensjonale numeriske modelleksperimentet for atmosfæren. Smebyes artikkel er registrert innsendt 19. desember 1952, mens Charney og Phillips' artikkel er registrert 5. januar 1953.

Som gjesteprofessor ved UCLA 1955–56 foreslo Eliassen et nytt skjema for diskretisering av de primitive ligningene i gitternett. Gitterpunktene for beregning av vind og massefelt (tetthet, trykk og temperatur) er forskjøvet i forhold til hverandre, og forskyvningen alternerer for hvert tidsskritt. Med dette blir beregningene av deriverte dobbelt så nøyaktige som når man beregner alle variabler i felles gitterpunkter, og dessuten blir det færre falske numeriske løsninger (computational modes). Denne måten å diskretisere på betegnes «Eliassen-grid» eller «Time-Staggered D-grid» (TSD). Metoden ble publisert i en rapport i 1956.⁶¹ Modellen ble programmert for en regnemaske (SWAC) av en programmerer, men ble dessverre ikke kjørt fordi det var en feil ved maskinen.

Hans kanskje mest oppsiktsvekkende forslag på 1950-tallet gjaldt objektiv analyse av observasjonsdata basert på statistisk behandling av dataene.

57 Eliassen, A., 1952. Simplified models of the atmosphere designed for the purpose of numerical weather prediction. *Tellus*, 4, 145–156.

58 Phillips, N.A., 1951. A simple three-dimensional model for the study of large-scale extratropical flow patterns. *J. Meteor.*, 8, 381–394.

59 Smebye, S., 1953. Tendency Computations with a Continuous Two-Parametric Atmospheric Model, *Tellus*, 5, 219–223.

60 Charney, J.G. & Phillips, N.A., 1953. Numerical integration of the quasigeostrophic equations for barotropic and simple baroclinic flows, *J. Meteor.*, 10, 71–99.

61 Eliassen, A., 1956. *A procedure for numerical integration of the primitive equations of the two-parameter model of the atmosphere*. Scientific Report No. 4, UCLA, March 1956, 64 pp.

Metoden omtales nå som optimal interpolasjon (OI) og ble opprinnelig beskrevet i et svært kort teknisk notat fra Høilands senter i 1954.⁶² At dette ikke ble publisert i et fagtidsskrift, har nok bidratt til at metoden ofte tilskrives Gandin fra en artikkel i 1963.⁶³ Til sammenligning foreslo Sasaki⁶⁴ nesten samtidig en variasjonsmetode som behandlet dataene deterministisk ved å minimalisere analysefeil ved å samtidig kreve oppfyllelse av naturlovene. Eliassens og Sakis metoder var begge langt forut for sin tid og kom begge i praktisk bruk for objektiv analyse først flere dekader senere. Videreutvikling av Sakis variasjonsmetode er nå mer populær siden den kan gjøre nytte av ikke-standard observasjoner, slik som strålingsflukser målt med instrumenter på satellitter.

Mot slutten av 1950-tallet formulerte Eliassen en spesiell type vertikal diskretisering av de primitive ligningene som ble et slags varemerke for ham. Han foreslo å bruke materielle vertikale koordinater slik at koordinatflatene følger med luftbevegelsene. Dette ble presentert i det første store internasjonale symposiet om NWP i Tokyo i 1960.⁶⁵

Fjørtoft hadde på 50- og tidlig på 60-tallet en betydelig bredde i sine interesser for utvikling av vitenskapelig baserte metoder til å modernisere den daglige værvarslingen. Hans egne vitenskapelige bidrag til NWP er også mindre tydelige enn Eliassens. Den faglige ambivalensen som kom til syne både i USA og i Sverige knyttet til om NWP ville være til hjelp i den daglige værvarslingen, påvirket ganske sikkert den norske direktørens avveininger. Det hadde vært i overkant dristig av en direktør med overordnet ansvar for værvarslingens bidrag til vern av liv og verdier, å ensidig satse på NWP. Regnemaskinressurser manglet, og teknisk kompetanse og erfaring med operasjonell drift måtte bygges opp. Kvaliteten til de første få numeriske prognosene kunne i høyden bidra til delvis inkrementelle forbedringer, men

62 Eliassen, A., 1954. *Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field*, Rep. 5, Norwegian Academy of Sciences, Institute of Weather and Climate Research, Oslo, Norway, 12 pp.

63 Gandin, L.S., 1963. *Objective Analysis of Meteorological Fields*. Gidromet, Leningrad, 285 pp. (translated by the Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1965).

64 Sasaki, Y., 1955. A fundamental study of the numerical prediction based on the variational principle. *J. Meteor. Soc. Japan*, 33, 30–43.

65 Eliassen, A., 1962. On the use of a material layer model of the atmosphere in numerical prediction, In: Proceedings of the international symposium on numerical weather prediction in Tokyo, Nov. 7–13, 1960. *Meteorol. Soc. Japan.*, 656, pp. 207–211.

var langt fra egnet til å rutinemessig erstatte vesentlige elementer i de manuelle metodene basert på Bergensskolen.^{66, 67, 68}

Man kan bare spekulere på hvilke vurderinger Fjørtoft gjorde om sin egen og DNMI's rolle på 50- og deler av 60-tallet, men kanskje var det slik at han visste at Eliassen aktivt utviklet nye metoder for NWP, slik at DNMI også burde utforske alternativer og ikke «legge alle egg i én kurv». Det var også begrenset hvor mye han som direktør hadde tid til å forske selv. Han etablerte i 1956 *direktørens testekontor*⁶⁹ som var en forløper for det som senere ble en forskningsavdeling ved DNMI. Noen ansatte ved DNMI samarbeidet med prosjektet ved SMHI i Stockholm (bl.a. Sigurd Smebye og Odd Haug) og det tok ikke lang tid for DNMI å kjøre operasjonell NWP etter at en elektronisk regnemaskin endelig ble installert i 1960.

Grovt sagt satset DNMI på 50- og 60-tallet på tre metoder for å utvikle værvarslingen: grafisk løsning av ligningene, statistiske metoder og NWP. Av disse kunne grafiske metoder implementeres raskt, mens de to andre krevde forskning og tekniske ressurser som instituttet ikke hadde på 50-tallet. Allerede i 1952, tre år før han ble direktør, foreslo Fjørtoft en metode til grafisk løsning av luftbevegelsene i 500 hPa-flaten,⁷⁰ altså det samme som ble løst numerisk i de første numeriske beregningene. Metoden perfektionerte han mens han var professor i København i en artikkel fra 1955.⁷¹ Suksessive romlige midlinger («glatttinger») fungerte som en «fattigmanns» Fourier-dekomposisjon ved at man fikk definert og skilt ut storskala vindfelt som endres langsomt, mens virvler på mindre skala kunne identifiseres og forflyttes i disse vindfeltene over det kommende døgn. Objektive varsler ett døgn fram kunne beregnes daglig etter ca. tre timers praktisk, manuelt

66 Staff members of the Joint Numerical Weather Prediction Unit, 1956. One year of operational numerical weather prediction, Part II. *Bulletin of the AMS*, 38, p. 315–328.

67 Shuman, F.G., 1989. History of Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center. *Weather and Forecasting*, 4, 286–296. Side 287.

68 Bergthorsson, P., Döös, B.R., Fryklund, S., Haug, O. & Lindquist, R., 1955. Routine Forecasting with the Barotropic Model, *Tellus*, 7, 272–274.

69 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*. PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 245.

70 Fjørtoft, R., 1952. On a numerical method of integrating the barotropic vorticity equation, *Tellus*, 4, 179–194.

71 Fjørtoft, R., 1955. On the Use of Space-Smoothing in Physical Weather Forecasting, *Tellus*, 7, 462–480.

arbeid. Metoden var unik og anvendbar, men ville kun være nyttig så lenge man ikke hadde elektroniske regnemaskiner. I et intervju publisert i ND-News 1972⁷², omtaler han denne «Fjørtoft-metoden», og der framgår det at han hadde NWP i tankene også da han utviklet den grafiske metoden:

ND-NEWS: This graphical method introduced by you, can it be elaborated any further?

Dr. Fjørtoft: It can but it is of no use. I mean, nobody would think of doing this now.

ND-NEWS: But some institutes use it even today.

Dr. Fjørtoft: Oh yes, but they do not have an electronic computer. The importance of this method was in the first place to pull a number of meteorologists into the field of numerical weather forecasting. They saw they could do some of these integrations in a simple way, and they became devoted to the field.

Noen av varslingsmeteorologene ble invitert til å dele sin tjeneste med forsknings- og utviklingsarbeid ved direktørens testekontor, og NWP var ett av flere faglige spor og med særlig Hans Økland som drivkraft. Jack Nordø ble hovedansvarlig for en satsing på å utvikle statistiske metoder for værvarsling ved instituttet. Det ble forsøkt etablert et samarbeid med Ed Lorenz ved MIT (Massachusetts Institute of Technology) i Boston, USA, som arbeidet med slike problemstillinger.⁷³ Feltet hadde et faglig slektskap til Eliassens optimale interpolasjon av observasjonsdata og til det som senere omtales som «Model Output Statistics» (MOS). Gjennom korrelasjonsanalyse knytter MOS de numeriske beregningene fra storskala NWP-prognoser til lokalt vær. Ut over dette er det ikke kjent om metodene ble benyttet i daglig værvarsling.

72 A look at modern meteorology. An interview with dr.philos Ragnar Fjørtoft. In: *ND-NEWS* No. 6, *Special Issue on Meteorology*. Dec. 1972, 40 s., s. 5–10.

73 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*. PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 263.

Odd Haug, som senere ble leder for instituttets EDB-avdeling, ga noen viktige bidrag allerede på 1950-tallet. Hans bidrag til SMHIs operasjonelle NWP fra midten av 1950-tallet er nevnt. Ved DNMI utviklet han en elegant metode for direkte løsning av visse elliptiske differensialligninger.⁷⁴ Slike måtte løses når man benyttet kvasigeostrofiske og andre modeller som filtrerer lyd-tyngde-bølger. Han utviklet også en praktisk anvendbar metode til objektiv analyse, som bl.a. ble presentert ved det store NWP-symposiet i Tokyo i 1960.⁷⁵

Fjørtoft arbeidet også selv videre med NWP-metoder, og typisk for ham foreslo han en ny og innovativ metode for å løse den ulineære balanseligning som var den utvidelsen av kvasigeostrofi som Bolin og Charney hadde foreslått i 1955 og 56. Dette ble først presentert ved symposiet i Tokyo i 1960.⁷⁶ Metoden ble senere anvendt, først mislykket ved NCAR USA av Søderberg under ledelse av Fjørtoft,⁷⁷ men siden vellykket av Sigbjørn Grønås og Magne Lystad så sent som i 1977.⁷⁸

2.5.2 1960-tallet: «FACIT-tiden»

DNMIs første elektroniske regnemaskin til bruk for meteorologiske beregninger ble installert i 1960. Dette var en FACIT EDB 3, som var en etterfølger til BESK, med transistorteknologi. Hans Økland var faglig nøkkelperson da DNMI fikk sin første operasjonelle NWP som ble kjørt på dette utstyret.⁷⁹ Andre meteorologer som var involvert, var Smebye, Haug og Lars

74 Haug, O., 1958. *A numerical method for integration of the Poisson and Helmholtz equations.*, Scientific report nr. 2, DNMI.

75 Haug, O., 1962. On the optimum use of available observations in numerical weather map analysis. Proceedings of the international symposium on numerical weather prediction in Tokyo, Nov 7–13, 1960, *Meteorol. Soc. Japan.*, 656, pp. Se også: Haug, O., 1959. A method of numerical weather map analysis. *Det Norske Meteorologiske Institutt Sci. Rep.* 5, 10 pp.

76 Fjørtoft, R., 1962. On the integration of a system of geostrophically balanced prognostic equations. Proceedings of the International Symposium on Numerical Weather Prediction in Tokyo, Nov 7–13, 1960. *Meteorol. Soc. Japan.* s. 153–159.

77 Fjørtoft, R. & Søderberg, B., 1965. *A prediction experiment with filtered equations.* NCAR, Boulder, Colorado. Manuscript No. 59.

78 Grønås, S. & Lystad, M., 1977. Solutions of the balance equation with minimum correction of the mass field, *Tellus*, 29, 502–511.

79 Økland, H., 1963. The operational forecasting model used in the Norwegian meteorological service, *Tellus*, 15, 280–283.

Haaland.⁸⁰ Modellen var kvasigeostrofisk og det ble kjørt både en ett-lags barotrop versjon for 500 hPa-flaten og en tolagsversjon. Integrasjonsmetoden var lagrangesk ved at horisontal forflytning av virvling ble beregnet ved hjelp av luftpakkebaner i det horisontale vindfeltet, også kalt trajektorier. På mange måter var ettlagsversjonen en numerisk videreføring av Fjørtofts grafiske teknikk fra 1952, men nå anvendt vesentlig mer nøyaktig og med mulighet for generalisering til tre dimensjoner. Det er verd å merke seg at DNMI i Oslo, ved Fjørtoft, arrangerte det andre store symposiet i NWP i 1963.⁸¹ Det første var det nevnte i Tokyo 1960.⁸²

Mens de kvasigeostrofiske ligningene var basis for den operasjonelle produksjon ved DNMI, arbeidet Økland videre og eksperimenterte med de primitive ligningene. Han programmerte en tolagsmodell med samme type integrasjonsskjema som var benyttet i den operasjonelle modellen i USA.⁸³ Dette forsøket var dessverre ikke vellykket, antagelig pga. feil i programmeringen av de numeriske metodene til Frederick Shuman som innebar en svært omfattende romlig midling og filtrering.⁸⁴ Arbeidet ble allikevel publisert⁸⁵ der følgende innledet konklusjonen:

There are quite obviously serious errors in the two-level prognoses presented here. For one thing there is a lack of smoothness caused by the noise waves. Some sort of smoothing procedure would certainly improve the forecasts on this point. But apart from this there are also errors in the meteorologically significant part, and some of these errors are not present in the barotropic forecasts.

80 Kristiansen, T.Aa., 2017. *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer* PhD-avhandling, Universitetet i Bergen, 2017, s. 259.

81 Platzman, G.W., 1963. International symposium on numerical weather forecasting, Oslo, March 11–16, *Tellus*, 15, 284–286.

82 Ito, 1961, International Symposium on Numerical Weather Prediction in Tokyo, *J. Meteor. Soc. Japan*, 39, 45–47.

83 Shuman, F.G., 1962. Numerical Experiments with the Primitive Equations. Proceedings of the international symposium on numerical weather prediction in Tokyo, Nov 7–13, 1960. *Meteorol. Soc. Japan.*, 656, pp. 85–106.

84 Bratseth, personlige diskusjoner.

85 Økland, H., 1965. An experiment in cyclogenesis prediction by a two-level model. *Mon. Wea. Rev.*, 93, 663–672.

Han sammenlignet altså resultatene fra tolagsmodellen med en modell med ett lag (barotrop). Hensikten med artikkelen var å studere om en tolagsmodell kunne beregne utviklinger ved å generere virvling og overføre mellom potensiell og kinetisk energi. Den barotrope modellen med ett lag har ikke mulighet for slike prosesser, men det var ikke klart om en representasjon av atmosfæren med bare to lag kunne være nok til å frambringe vesentlige forbedringer. At maskevidden i gitteret var så grov som 381 km kunne også innvirke på effektiviteten av slike barokline prosesser i modellen. Om dette konkluderer Økland optimistisk (på tross av feilene han først innrømmer):

However, the two-level forecasts are definitely better than the barotropic in some places, and especially over eastern North America where strong cyclogenesis have taken place. There is therefore little doubt that this two-level model is capable of predicting at least some of the significant baroclinic developments.

Økland arbeidet med å utvikle, programmere og kjøre eksperimenter med disse modellene over flere år, inklusive et lengre opphold (1962–64) ved National Meteorological Center (NMC), U.S. Weather Bureau, hos bl.a. Shuman og Cressman. Det er ikke utenkelig at det mislykkede eksperimentet til Økland reduserte Fjørtofts vilje til å satse sterkt på NWP ved DNMI basert på primitive ligninger. Man kan også spekulere på om dette kan ha bidratt til hans (og andres) negative holdning til at Norge skulle bli medlem av ECMWF noen år senere.⁸⁶

Økland programmerte imidlertid senere en annen modell basert på primitive ligninger for fire nivåer som ble brukt til å studere frontogenese i en idealisert sonal grunnstrøm, men altså ikke på reelle værdata. Her brukte han det vesentlig enklere Eliassen-gitteret. Dette modelleksperimentet ble gjort ved DNMI, var teknisk og meteorologifaglig vellykket og ble publisert i 1969.⁸⁷ Modellen og infrastrukturen rundt måtte imidlertid ha blitt vesentlig videreutviklet før den kunne ha blitt brukt til operasjonell NWP dersom det hadde vært ønskelig.

86 Hov, Ø. & Eliassen, A., 2022. Veien til Norges medlemskap i ECMWF. Artikkel i denne boken.

87 Økland, H., 1969. Experimental integration of a 4-level primitive equation model of the atmosphere. *Tellus*, 21, 359–367.

Et av Øklands sterkeste faglige bidrag var resultatet av hans andre opphold, 1968–69, ved NMC i Washington, D.C., USA. Der studerte han særlig geostrofisk tilpasning i barokline atmosfæremodeller. Han foreslo og testet ut teknikker for dynamisk initialisering av starttilstanden for numeriske prognoser for å kontrollere meteorologisk støy i modeller basert på primitive ligninger. Han beregnet «normale moder»⁸⁸ og pekte på den måten fram mot det som noen få år senere ble utviklet til ikke-lineær initialisering med eksplisitt beregning av horisontale og vertikale normale moder. Arbeidene ble publisert vitenskapelig,⁸⁹ og utgjorde brorparten av hans arbeid til dr.philos-graden. Økland var en faglig lederfigur innen numeriske beregninger og NWP både i årene ved DNMI og da han senere ble ansatt ved UiO.

Ved universitetet ledet Eliassen et større prosjekt 1960–64 som bl.a. omfattet integrasjon av en tolagsmodell med primitive ligninger. Den «meteorologiske støyen» i modellen ble holdt i sjakk ved å sikre balanserte starttilstander med beregninger som omfattet den ulineære balanseligningen. En innovativ analyse av løsningsmetoden for balanseligningen ble presentert, og beregningene ble utført på FACIT-maskinen ved DNMI. Prosjektet var finansiert gjennom en kontrakt med USAs luftforsvar. Med på dette prosjektet var Arne Grammeltvedt, Ole Bremnes og Marius Todsén, og amerikaneren William Blumen var gjesteforsker. Resultatene av prosjektet ble rapportert teknisk,⁹⁰ men ikke som vitenskapelig publikasjon i et tidsskrift.

Etter dette satte Eliassen vitenskapelige assistenter til å programmere og studere dynamikk i flerlagsmodeller med potensiell temperatur som vertikalkoordinat. Elmer Raustein, Oddvar Hellevik og Arne Bratseth var alle involvert i å utvikle ulike versjoner av et slikt modellapparat. De fleste av Eliassens hovedfagsstudenter benyttet dette i sine numeriske studier av atmosfæren. Modellene anvendte Eliassen-gitteret med både primitive lig-

88 Normale moder kan sammenlignes med de naturlige svingningene en gitarstreng kan ha; én buk = grunntonen, to buker med et knutepunkt på midten = første overtone, tre buker = andre overtone, osv.

89 Økland, H., 1970. On the adjustment toward balance in primitive equation weather prediction models, *Mon. Wea. Rev.*, 98, 271–279, og Økland, H., 1972. On the Balance, Initialization and Data Assimilation in Primitive Equation Prediction Models, *J. Atmos. Sci.*, 29, 641–648.

90 Eliassen, A., Grammeltvedt, A. & Bremnes, O., 1964. Studies in Numerical Weather Prediction and the dynamics of fronts. Final Report, Contract AF 61(052)-525, Institutt for Teoretisk Meteorologi, University of Oslo, 67 pp.

ninger og ligninger filtrert med den geostrofiske momentapproximasjon, som Eliassen utviklet i sin doktoravhandling fra 1949.

Kaare Pedersen ble dosent ved universitetet i 1963 etter at han tok doktorgraden på et arbeid om numeriske prognoseberegninger som omfattet luftfuktighet og beregning av nedbør. Dette ble hovedsakelig utført da han var hos Sverre Pettersen i Chicago i tre år. Modellen var kvasigeostrofisk og besto av tre nivåer. Det ble publisert i 1963⁹¹ og er blant de første vellykkede forsøk med numeriske beregninger av objektive nedbørprognoser. Pedersen arbeidet senere spesielt med generaliserte balansebetingelser for atmosfærens dynamikk som foreslått av Charney⁹² som startet i samarbeid med Knut Erik Grønnskei.⁹³ På dette feltet veiledet han Thor Erik Nordeng og Trond Iversen som ble de første med dr.scient.-grad i geofysikk ved UiO (september 1981).

Arne Grammeltvedt tok doktorgraden ved UiO på et arbeid der han eksperimenterte med en rekke ulike diskretiseringskjema for primitive ligninger. En viktig del av dette arbeidet gjorde også han i USA, hos Warren Washington ved NCAR (National Center for Atmospheric Research) i Boulder, Colorado.⁹⁴ Grammeltvedt ble senere professor i Bergen, der han også var vert for FGGE-symposiet i juni 1980.⁹⁵ FGGE (First GARP Global Experiment) var et eksperiment under WMOs GARP (Global Atmospheric Research Programme) for å samle og behandle så mye som mulig av observasjoner i 1979 (FGGE-året), bl.a. for å studere muligheter og begrensninger av NWP.⁹⁶ På mange måter markerer FGGE-året et tidsskille mht. bruk av kvantitativ informasjon fra observasjoner fjernmålt med instrumenter på satellitter.

91 Pedersen, K., 1963. On quantitative precipitation forecasting with a quasi-geostrophic model. *Geoph. Publ.*, 25, 1–25.

92 Charney, J.G., 1962. Integration of the primitive and balance equations. Proceedings of the international symposium on numerical weather prediction in Tokyo, Nov 7–13, 1960. *Meteorol. Soc. Japan.*, 656, pp. 131–152.

93 Pedersen, K. & Grønnskei, K.E., 1969. A method of initialization for dynamical weather forecasting and a balanced model. *Geophys. Norv.*, 27, No. 7.

94 Grammeltvedt, A., 1969. A survey of finite-difference schemes for the primitive equations for a barotropic fluid *Mon. Wea. Rev.*, 97, 384–403.

95 International conference on preliminary FGGE data analysis and results: Bergen, Norway, 23–27 June 1980. WMO, Geneva, 1981. 552 sider.

96 *The First GARP Global Experiment: Objectives and plans*. Geneva, World Meteorological Organization (WMO), Global Atmospheric Research Programme (GARP), 1973. xxxvi, 107 p. QC/869/F44/G632/1973.

Grammeltvedt var direktør ved DNMI 1983–99, i en periode da instituttet satset sterkt på numeriske modeller av prosesser i atmosfære og hav, og ikke minst NWP. Instituttet ble medlem av ECMWF mens han var direktør. Den endelige avgjørelsen om medlemskap skyldtes hovedsakelig sterkt påtrykk fra fagfolk som ikke nettopp arbeidet med NWP, men som trenger numeriske analyser av atmosfærens tilstand for såkalt nedstrøms beregning av miljøkonsekvenser av menneskers gjøren og laden.⁹⁷

2.5.3 1970-tallet: balanserte modeller på Nordic-anlegget

Tidlig i 1972 ble et nytt regneanlegg installert ved DNMI. Dette anlegget, NORDIC – The multicomputer installation to the Norwegian Meteorological Institute, var resultat av et utviklingssamarbeid med Norsk Data-Elektronikk (senere Norsk Data). Det tidligere nevnte spesialnummeret om meteorologi av magasinet ND-News publisert i desember 1972⁹⁸ informerte og reklamerte for samarbeidet. I tillegg til det tidligere nevnte intervjuet med Fjørtoft var det artikler av Jan A. Børresen, Lars Håland, Hans Økland og dansken Aksel Wiin Nielsen. Dette regneanlegget ble det viktigste redskapet for operasjonell NWP ved DNMI fram til 1980-tallet.

DNMI (og UiO) var utover 1970-tallet også koblet til Regneanlegget Blindern-Kjeller (RBK) som opererte en Control Data Cyber-74 på Kjeller. Cybermaskinen var kraftig etter datidens målestokk, og ble bl.a. brukt til forskning og utvikling innen numeriske beregninger av atmosfære og hav, men ikke til operasjonell produksjon annet enn som reserve dersom NORDIC var nede.

På slutten av det nevnte intervjuet med Fjørtoft i ND-News fra desember 1972, ble han spurt om årsaken til den tidens tilsynelatende langsomme framdrift i kvalitet av NWP. Det er interessant å lese hans svar på dette som én mulig bakgrunn for hans negative holdning til norsk ECMWF-medlemskap. I denne sammenheng er det også på sin plass å minne om at Fjørtoft helt sikkert var godt kjent med at Ed Lorenz allerede i flere år hadde studert

97 Hov, Ø. & Eliassen, A., 2022. Veien til Norges medlemskap i ECMWF. Artikkel i denne boken.

98 ND-NEWS No. 6, *Special Issue on Meteorology*. Dec. 1972. 40 sider.

og diskutert vekst av små unøyaktigheter i inngangsdata til numeriske værmodeller. Disse arbeidene grunnla etter hvert et helt nytt fagfelt: Teori for ulineære dynamisk systemer og «kaos».

There is no doubt that when the forecasts go badly wrong, this is due to a combination of lack of knowledge of the state of the atmosphere and proper data. ... I have no opinion of what is the most important, but I will tell you that this is one of the major tasks for the groups that prepare GARP (Global Atmosphere Research Program). They are trying to find out what are the main reasons why we do not proceed and improve the forecasts significantly. Is it mainly because of the models which are not physically so sound as they should be, or is it mainly because of lack of knowledge of the atmosphere, or is it both? Why does the forecast go wrong after 4-5 days; this we really do not know, and there are many problems to be solved.

Økland beskrev i popularisert form hvordan NWP fungerer ved bruk av elektroniske regnemaskiner. Han ga bl.a. eksempler fra foreløpige beregninger med en balansert modell med 4 lag som han omtaler som «rather simple». Dette er antagelig en forløper til den modellen som i ulike versjoner var operasjonell gjennom det meste av 1970-årene, og som Sigbjørn Grønås og Magne Lystad var daglig ansvarlig for.⁹⁹ Det er ikke klart når denne modellen ble operasjonell, men rapporten viser iallfall resultater fra juli 1973. Modellen brukte den kvadratiske balanseligningen, som altså er en del bedre enn ren kvasigeostrofi. Det er heller ikke beskrevet hvordan startbetingelsene er beregnet ved objektiv analyse. Knut Bjørheim programmerte en analysemetode, men denne ble ikke publisert i rapportens form før fire år senere, i 1979.¹⁰⁰ Visse utvidelser og justeringer ble senere gjort i 1976¹⁰¹ og 1977¹⁰², uten vesentlig forbedringer i resultatene.

99 Grønås & Lystad, 1975. *A four layer balanced model operated at the Norwegian meteorological institute*, Tech. Rep. No. 23, DNMI, 1975. 65 sider.

100 Bjørheim, K., 1979. Tech. Rep., No. 40, DNMI, 44 sider.

101 Grønås, S., 1976. Tech. Rep., No. 40, DNMI, 44 sider.

102 Lystad, M., 1977. *A general balanced model for numerical weather prediction*. *Beitr. Phys. Atmos.*, 50, 41–54.

Det er interessant hvordan Økland vurderer prognosen på basis av ett enkelt tilfelle. Dette var et tilfelle der «vår» modell viste bedre resultater for et spesifikt stormsystem enn andre modellresultater som var tilgjengelig ved DNMI ved dette tilfellet. Han skriver:

It so happened that none of the other numerical prognoses we had access to ... had developed this low with comparable accuracy, although some of these prognoses were made by more sophisticated models and bigger computers. There can be little doubt that the success was caused more by an accurate initial analysis than by any special virtue of the model itself.

Økland vektlegger altså kvaliteten på startdataene for prognosen, siden modeller som skulle være bedre, ikke ga bedre resultat. At det kunne være slik at «vår» modell rent tilfeldig ga bedre resultat, ser det ikke ut til at han vurderte. Slike tilfeldigheter for enkelt-realiseringer kan oppstå som følge av redusert prediktabilitet. I konklusjonen gir han også uttrykk for synspunkter som i retrospekt kan tolkes i lys av Norges holdning til medlemskap i ECMWF:

For instance, one may visualize a mammoth computer tied directly to a network of automatic observing stations through a sophisticated telecommunication system, and the output from the computer coming into the national services in vast amounts. However, in the national centres expert meteorologists will be needed to explain the implications of these results to the public. To train such experts in sufficient numbers may prove to be a formidable task. A country which has a staff of meteorologists already trained through the use of a computer of their own will have a great advantage.

Man skal selvsagt være forsiktig med å tolke slike utsagn i lys av situasjonen nå 50 år etterpå, men det er ikke urimelig å ane en betydelig skepsis til å inngå i et samarbeid av den type som ECMWF tegnet til å kunne bli den gang.

Forskningen i dynamisk meteorologi og numeriske metoder ved UiO på 1970-tallet var ikke like aktiv som de to foregående tiårene. Oddvar Hellevik og Arne Bratseth var vitenskapelige assistenter, én av dem finansiert av NAVF (Norges allmennvitenskapelige forskningsråd) som bidrag til GARP. De eksperimenterte med isentropflater i modellene under veiledning

av Eliassen. At Bratseth var et stort forskertalent skulle særlig vise seg på 80- og 90-tallet. Hellevik gikk over til forskningsavdelingen ved DNMI da en ny NWP-modell basert på primitive ligninger ble planlagt utviklet (NorLAM). Cyber-maskinen ved RBK på Kjeller var hovedsakelig den regnemaskinen som ble benyttet.

Den ganske aktive reisevirksomheten med lengre forskningsopphold ved institutter i USA var så godt som slutt på 1970-tallet, iallfall for yngre forskere. Dog var det stadig besøk av gjesteforelesere på Institutt for geofysikk (Mel Shapiro, Ron Smith, Ed Lorenz og noen av kortere varighet). Ingen doktorgrader på tema med NWP-relevans eller dynamisk meteorologi ble avlagt ved instituttet mellom Økland (1973) og Iversen og Nordeng (1981) og Bratseth (1987).

Om Nordengs og Iversens dr-avhandling. Av opplagte grunner tillater jeg meg å diskutere denne avhandlingen litt nærmere, inklusive en (selv)kritisk kommentar om valg av tema. Med Kaare Pedersen som veileder arbeidet Nordeng og Iversen (jeg) sammen om å utvikle og eksperimentere med et hierarki av balanserte modeller med lignende diskretisering som ble brukt i den operasjonelle modellen til Grønås og Lystad ved Meteorologisk institutt. I september 1981 disputerte vi til dr.scient-graden. Selve avhandlingen¹⁰³ er dårlig strukturert, men de viktigste vitenskapelige bidragene kan leses i de tre publikasjonene som refereres nedenfor.

De to mest avanserte av de fem balanserte modellene var utvidelser av den Jule Charney foreslo på symposiet i Tokyo i 1960.¹⁰⁴ Meteorologisk støy filtreres med minst mulig endring av ligningene ut over dette ved å kreve enten at de romlig lokale eller at de materielt individuelle variasjoner av den horisontale divergens er null i divergensligningen. Når alle andre ledd beholdes, avledes en generalisert balanseligning som er en relasjon mellom massefeltet (trykk og temperatur) og det horisontale vindfeltet. Sammen med de andre ligningene gir dette et system av ulineært koblede differensialligninger. Fra dette systemet beregnes tredimensjonale vindfelt og tids-tendensen for virvling og temperatur ved å simultant løse balanseligningen,

103 Iversen, T. & Nordeng, T.E., 1981. *On the use of filtered models in Numerical weather prediction.* Thesis, Dr.Scient. The Faculty of Mathematics and Natural Science, University of Oslo, Norway.

104 Charney, J.G., 1962. Integration of the primitive and balance equations. *Proc. Symp. Numerical Weather Prediction*, Tokyo, 131–152.

virvlingsligningen, den termodynamiske energiligning og omegaligningen under gitte grenseflatebetingelser på bakken, ved atmosfærens yttergrense og ved de åpne begrensningene av beregningsområdet.

Løsningen ved hvert tidskritt beregnes ved en iterasjon som kan konvergere dersom de foreløpige løsningene ved hver iterasjon gjør at lignings-systemet er elliptisk. Dette oppnås når den potensielle virvling har samme fortegn som coriolisparameteren i alle punkter. Problemet er at i den virkelige atmosfæren brytes denne betingelsen fra tid til annen, for eksempel på den antisyklonale siden av sterke jetstrømmer i den øvre delen av troposfæren og ved skarpe fronter med sterk baroklinitet i de nederste få kilometerne over bakken. Dersom modellens maskevidde i gitternettet er 100 km eller mindre og skydannelse og nedbør inkluderes i beregningene, vil skarpe fronter med regnbånd opptre hyppig. Dersom man skulle ønske å bruke vår type balanserte modeller til operasjonell NWP måtte det utvikles nye løsningsmetoder som ikke bryter sammen under slike forhold. Disse begrensningene ble diskutert sammen med presentasjon av resultater i hovedartikkelen.¹⁰⁵

De balanserte modellenes evne til å undertrykke meteorologisk støy når de initialiserer modeller basert på primitive ligninger, ble også studert. To modeller basert på de primitive ligningene ble programmert, én med standard bruk av kartesiske vindkomponenter og én med samme vindbeskrivelse og numerisk diskretisering som i de balanserte modellene. Slik ble det demonstrert hvor viktig det er at modellen med primitive ligninger avviker minst mulig fra modellen som initialiserer.¹⁰⁶

Det kanskje mest oppsiktsvekkende resultatet var et tilnærmet stringent bevis for numerisk løsning av den kvadratiske balanseligningen,¹⁰⁷ med metoden foreslått av Eliassen, Grammelvedt og Bremnes i rapporten fra 1964. Resultatet ble kommentert av Jan Paegle i 1985.¹⁰⁸

105 Iversen, T. & Nordeng, T.E., 1984. A Hierarchy of Nonlinear Filtered Models-Numerical Solutions. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 2048–2059.

106 Iversen, T. & Nordeng, T.E., 1984. Static initialization of primitive equation models on a bounded, extratropical region. *Tellus*, 36A, 21–29.

107 Iversen, T. & Nordeng, T.E., 1982. A convergent method for solving the balance equation. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1347–1353.

108 Paegle, J., 1985. Reply. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 695.

Iversen and Nordeng (1982) and Bijlsma and Hoogendoorn (1983) have separately developed convergence proofs that explain most of the experimental results based on the Shuman (1957) and Miyakoda (1956) approach. As the authors state, both analyses contain simplifications that obviate completely general convergence conclusions, and I see no clear resolution of the difficulties beyond the analysis given on page 1350 of Iversen and Nordeng (1982).

Ved disputasen var Hilding Sundqvist, MISU (Meteorologiska institutet, Stockholms universitet), opponert. Hans første spørsmål var hvorfor vi hadde valgt å studere balanserte modeller istedenfor modeller basert på primitive ligninger. Dette spørsmålet var høyst betimelig og loddet dypere enn jeg hadde innsikt nok til å fatte på disputasen. Som veileder var K. Pedersen positiv og oppmuntrende, og Nordeng og jeg lærte mye dynamisk meteorologi, numerisk matematikk og programmering av arbeidet med avhandlingen. Det var også en håndfull studenter som etter hvert tok hovedfagsoppgaver basert på de balanserte modellene med støtteveiledning av oss.

Som rent nysgjerrighetsdrevet forskning med bidrag til utdanning hadde dette arbeidet en plass. Vi innså imidlertid snart etter disputasen at potensialet for operasjonell NWP var forsvinnende lite. Snarere representerte arbeidene en sluttstrek for NWP-æraen med balanserte modeller utover teoretiske studier i dynamisk meteorologi. Ved slutten av 1970-årene hadde utvikling av semi-implisitt integrasjon og nye metoder for å initialisere, aktualisert bruken av de primitive ligningene til NWP. Ressurskrevende invertering av koblede elliptiske ligninger trengs da ikke, og fysiske prosesser og eksplisitt beregning av værparametere kan inkluderes vesentlig enklere.

Hvis Norge hadde vært medlem av ECMWF den gangen, hadde dette kunnet åpne for nye og mer relevante perspektiver i doktorprosjektet. I så fall ville dette ganske sikkert økt interessen for våre resultater med vesentlig mer internasjonal kontakt som resultat.

2.5.4 1980-tallet: NorLAM – Norwegian Limited Area Model

Rundt årsskiftet 1982/83 ble en vektormaskin (Floating Point System, FPS 164) installert ved DNMI, med en IBM som frontmaskin (IBM 4341/10, senere oppgradert til 9370) for administrasjon av data til og fra FPS. Disse maskinene erstattet Nordic-anlegget, og gjorde det mulig å planlegge å utvikle en helt ny modell for operasjonell NWP basert på de primitive ligninger. Et prosjekt for dette ble planlagt ved Meteorologisk institutt med faglig støtte fra Institutt for geofysikk ved UiO.

På starten av 1980-tallet, i tiden mellom NORDIC og FPS/IBM-anleggene, var DNMI uten egen produksjon av operasjonell NWP. Dette utgjorde ingen umiddelbar krise for den daglige værvarslingen, siden instituttet hadde tilgang på numeriske produkter fra flere internasjonale sentre, og rutinene for vakthavende meteorolog var fremdeles slik at numeriske produkter var én av flere kilder til den manuelle utarbeidelse av varsler. Forsknings- og utviklingsarbeid og eksperimenter var heller ikke stoppet opp fordi slikt kunne gjøres, og ble også gjort, på maskinen Cyber-74 ved Regneanlegget Blindern-Kjeller (RBK).

For anvendelser som trengte numeriske meteorologiske analyser eller prognoser på digital form som input til nedstrøms modellering og aktiviteter, var imidlertid dette svært uheldig. DNMI kunne ikke ha en slik situasjon veldig lenge uten å miste renommé og troverdighet som faglig samarbeidspartner innen forskning og utvikling, eller som leverandør av kvantitativ meteorologisk informasjon til samfunnet. Én slik viktig aktivitet var det europeiske programmet for beregning og vurdering av grenseoverskridende luftforurensninger i Europa (EMEP). DNMI hadde som oppgave å være det vestlige meteorologiske senteret (MSC-West) for beregning av slike forurensninger. Det ble derfor inngått avtale om at dette prosjektet skulle delfinansiere det nye regneanlegget. Prosjektet lønnet for en periode også en forskerstilling som skulle være med på å utvikle modellen, slik ble det sikret at relevante meteorologiske data til bruk for EMEPs beregninger ble tatt ut fra NorLAM.

En viktig grunn til at man valgte å satse på en egen ny modell – *NorLAM* – var innovative metoder i numerisk diskretisering, dataassimilasjon og initialisering utviklet av Arne M. Bratseth i en tiårsperiode fra andre halvdel av 1970-tallet, da han var vitenskapelig assistent ved UiO, til han avla den filo-

sofiske doktorgrad (dr.philos.¹⁰⁹) i 1987. Han ble utnevnt i statsråd til professor i 1989¹¹⁰ i stillingen etter Arnt Eliassen og Hans Økland.

Det aller meste av Bratseths innovasjoner var inspirert av metoder som Eliassen og Fjørtoft hadde foreslått på 1950-tallet. Han videreutviklet Eliassen-gitteret – foreslått i 1956 – på en måte som bevarte den høye nøyaktigheten i den horisontale diskretiseringen samtidig som han unngikk den tids-alternerende romlige forskyvningen av vindkomponentene og massefeltet. Metoden ble rapportert i en instituttrapport fra Institutt for geofysikk (UiO) i 1978,¹¹¹ men tidsskriftsartikkelen ble først publisert i 1983¹¹² på grunn av en forsinkelse etter en inkurie hos tidsskriftets redaksjon.

I en rapport fra 1981¹¹³ foreslo han en effektiv måte å kontrollere meteorologisk støy på gjennom dynamisk initialisering av de primitive ligningene. Det er historisk interessant at han foreslo å bruke suksessiv glatting til å skille moder med ulik horisontal utstrekning. Dette var inspirert av Fjørtofts grafiske metode fra 1952 som også Økland hadde benyttet da han laget DNMI's første operasjonelle NWP i 1963. For å skille støyen fra de meteorologisk interessante bevegelsene, splittet han ligningenes tilpasningsledd (som gir opphav til tyngde-treghetsbølger og Lamb-bølger) fra adveksjonsleddene, og kunne dermed dempe amplitudene til støykomponenter med minimal påvirkning av meteorologiske komponenter.¹¹⁴

Endelig utviklet Bratseth en ganske genial metode for objektiv analyse basert på suksessive korreksjoner, men der vektlegging av observasjoner og modellens første estimat velges slik at løsningen konvergerer mot det samme

109 Bratseth, A.M., 1987. *Some new methods related to numerical weather prediction*. Thesis, Dr. Philos, Institute of Geophysics, University of Oslo.

110 Professoratet var stillingen som ble ledig da Økland ble emeritus, og var stillingen Eliassen hadde fra 1958 til 1982 da han ble seniorstipendiat (NAVF).

111 Bratseth, A.M., 1978. *A class of efficient finite difference schemes for the primitive equations*. Inst. Rep. Series, No. 37. Institute of Geophysics, University of Oslo.

112 Bratseth, A.M., 1983. Some economical, explicit finite-difference schemes for the primitive equations. *Mon. Wea. Rev.*, 111, 663–668.

113 Bratseth, A.M., 1981. *A new approach to the initialization of primitive equation models*. Inst. Rep. Series, No. 44. Institute of Geophysics, University of Oslo.

114 Bratseth, A.M., 1982. A simple and efficient approach to the initialization of weather prediction models. *Tellus*, 34, 352–357, og: Bratseth, A.M., 1989. Efficient dynamical initialization of a limited area model. *Tellus*, 41A, 18–31.

resultatet som statistisk optimal interpolasjon som var foreslått av Eliassen i 1954,¹¹⁵ men med en vesentlig enklere prosedyre.

2.5.5 Pionertid for NWP ved DNMI

Med NorLAM gikk NWP-aktivitetene ved DNMI inn i en lang periode som fortjener betegnelsen «glansperiode» med tydelig pionerånd. Uten tvil la dette grunnlaget for mye av aktivitetene og utvikling av kompetanse basert på numeriske modeller i en ekspanderende forskningsavdeling og mange år senere også i Senter for utvikling av værtjenesten (SUV) helt fram til i dag (2022).

På tross av at de nye metodene i all hovedsak var Bratseths, var Sigbjørn Grønås den som i store deler av NorLAMs utvikling utrettelig ledet prosjektet og sørget for framdrift og oppdateringer gjennom flere faser som moderne operasjonell rutine for NWP, inntil han ble professor ved Geofysisk institutt ved UiB i 1990.¹¹⁶ Han hadde i en lengre periode i andre halvdel av 1970-tallet uttrykt betydelig frustrasjon over manglende prioritering av nyutvikling av NWP ved DNMI. Han arbeidet selvsagt ikke alene med prosjektet. Oddvar Hellevik ble først ansatt ved DNMI's forskningsavdeling med støtte fra EMEP etter to perioder som vitenskapelig assistent for Eliassen på GARP-prosjektet (NAVF). Thor Erik Nordeng overtok hans stilling i mai 1982 da han kom fra en vitenskapelig assistent stilling ved UiO et drøyt halvår etter doktorgraden.

Bratseth var ansatt samme sted i snaut to år fra 1981 til 1982/83 da han dels utviklet de nye metodene for NorLAM og dels programmerte modellversjonen som ble grunnlaget for operasjonell produksjon. Han fortsatte arbeidet med NorLAM-metodene da han returnerte til UiO som førsteamanuensis i 1983 i stillingen som ble ledig da Økland ble professor. Som en kuriositet kan nevnes at en egen datakabel ble montert fra FPS/IBM-anlegget ved DNMI gjennom lange kjellerkorridorer ved UiO til Bratseths kontor på Institutt for geofysikk, UiO. Det fantes den gang ikke noe raskt fungerende internett slik vi er vant med i våre dager (2022).

115 Bratseth, A.M., 1986. Statistical interpolation by means of successive corrections. *Tellus*, 38A, 439–447.

116 I stillingen etter Hilding Sundqvist som ble ledig da han ble professor ved MISU ved Stockholms universitet.

I påvente av at det nye regneanlegget skulle bli installert ved DNMI, startet NorLAM-utviklingen på Cyber-74 maskinen ved RBK. Sammen med Hellevik programmerte Grønås den første modellversjonen i 1982.¹¹⁷ Eksperimenter ble gjort på noen utvalgte tilfeller i et stort område på den atlantisk-europeiske sektor av den nordlige halvkule med 300 km gitteravstand og på et mindre område nestet inn med 150 km gitteravstand. Bratseth programmerte like etter modellen på nytt. Den koden var meget effektiv og oversiktlig og ble altså senere brukt til operasjonell produksjon på FPS/IBM-anlegget.

De fysiske prosessene i denne første versjonen var svært forenklet. Thor Erik Nordeng ble hovedansvarlig for å utvikle det som på den tiden ble ansett å være en fullstendig beskrivelse av fysiske prosesser i NWP-modeller for stor mesoskala.¹¹⁸ Trond Iversen bisto på deler av dette arbeidet. Fysikken omfattet effekter av småskala turbulens i atmosfærens grenselag mot bakken, grunn og dyp konveksjon, skyfysikk og nedbør, og kort- og langbølget stråling. Nordeng utviklet også en sub-modell for beregning av varmeledning og fuktighet i jordbunnen på land.

Nordeng utviklet teori for og implementerte fysiske prosesser som ikke hadde vært representert i NWP-modeller tidligere. En av disse var en parameterisering av «slantwise convection» som forklarer at nedbørsbånd kan oppstå på grunn av symmetrisk ustabilitet som fører til parallelle omveltninger langs skarpe fronter med sterke temperaturkontraster, eller ved kraftig antisyklonal skjær-virvling langs kraftige jetstrømmer¹¹⁹. Han generaliserte også senere den klassiske Charnocks formel for beregning av ruhet over vindsjø til havs¹²⁰ som påvirker hvor effektivt vind bremses av friksjon over åpne vannflater. Videre brukte han modellen til en rekke spesialiserte studier av fysisk-dynamiske prosesser i atmosfæren. Spesielt kan nevnes simulering av polare lavtrykk i det store prosjektet ved DNMI under ledelse av Magne Lystad.¹²¹

117 Grønås, S. & Hellevik, O.E., 1982. *A limited area prediction model at the Norwegian meteorological institute*. Tech. Rep., No. 61, DNMI, Oslo. 75 sider.

118 Nordeng, T.E., 1986. *Parameterization of physical processes in a three-dimensional numerical weather prediction model*. Tech. Rep. No. 65, DNMI, Oslo.

119 Nordeng, T.E., 1987. The effect of vertical and slantwise convection on the simulation of polar lows. *Tellus*, 39A, 354–375.

120 Nordeng, T.E., 1991. On the wave age dependent drag coefficient and roughness length at sea. *J. Geophys. Res., Oceans*, 96, 7167–7174.

121 Lystad, M., 1986. *Polar lows in the Norwegian, Green/and and Barents Sea. Final report of the Polar Lows Project*. The Norwegian Meteorological Institute, Oslo.

Nordengs bidrag ble lagt merke til utenfor landets grenser, og han ble invitert til forskningsopphold ved Météo-France (den gang i Paris), NCAR i Boulder, USA, og til ECMWF etter at Norge ble medlem. Han ble også invitert til MIT i Boston, USA, for et gjesteforedrag fordi Kerry Emanuel hadde spesiell interesse for «slantwise convection». Da første versjon av NorLAM ble klar til å kjøres operasjonelt, etterkjørte Nordeng modellen med 150 km maskevidde og 10 nivåer vertikalt for å generere data for hele året 1985 til bruk i modellene for transport av luftforurensninger i Europa for EMEP.

Trond Iversen var ansatt på NILU, men ble av direktør Brynjulf Ottar fristilt inntil to dager per uke over en periode fra 1983 til 1986 da han ble ansatt ved DNMI's forskningsavdeling lønnet på EMEP. Formålet fra NILU's side var å utvikle en versjon av NorLAM som kunne brukes til å generere meteorologiske data for spredningsberegninger av luftforurensninger på byskala og i komplekst terreng i Norge. Beregninger av vind og turbulens ble bl.a. brukt i basisundersøkelsen i Bergen (finansiert av Statens forurensningstilsyn, SFT) basert på en modellversjon med 1 km gitteravstand nestet inn i et gitter med 10 km avstand.¹²² Dette arbeidet ble, som ovenfor nevnt, gjort i samarbeid med Nordeng som del av de fysiske parameteriseringene han utviklet og implementerte i den etter hvert operasjonelle versjonen av NorLAM.

Knut Helge Midtbø, som hadde vært statsmeteorolog i Tromsø og Bergen, ble ansatt ved forskningsavdelingen i januar 1984 med hovedansvar å få på plass objektiv analyse. Det ble først forsøkt å lage et system basert på Odd Haugs metoder fra 50-tallet, men i en utvidet multivariat versjon. Dette viste seg problematisk å realisere. I stedet ble det utviklet et system for analyse basert på Bratseths tilnærming til optimal interpolasjon via suksessive korreksjoner. I samarbeid med Grønås og jevnligte diskusjoner med Bratseth fikk Midtbø implementert dette systemet for operasjonell objektiv analyse for NorLAM.¹²³

122 Iversen, T. & Nordeng, T.E., 1987. *A numerical model suitable for the simulation of a broad class of circulation systems on the atmospheric mesoscale*. NILU TR 2/87, 66 sider. Norsk Institutt for luftforskning.

123 Grønås, S. & Midtbø, K.H., 1986. Four-dimensional data assimilation at The Norwegian Meteorological Institute. Technical Report No. 66. DNMI, Oslo, Norway – og Grønås, S. & Midtbø, K.H., 1987. Operational multivariate analyses by successive corrections. In: *Short- and medium-range Numerical Weather Prediction*. Collection of papers presented at the WMO/IUGG NWP Symposium, Tokyo, August 1986, 61–74.

Anstein Foss var involvert i å utvikle det meste av systemene som trengtes for effektiv kjøring av analysen og prognosemodellen på regneanlegget. Han programmerte også imponerende systemer for grafiske produkter og verifikasjon. Det kan nevnes at Lennart Bengtsson, som den gang var direktør ved ECMWF, besøkte DNMI i 1986 og fikk demonstrert de grafiske produktene til Foss. Han ble tydelig imponert og tok med seg inspirasjon til å få utviklet tilsvarende grafikk i global skala ved ECMWF. Siden har dette systemet blitt videreført av produktutviklere ved Meteorologisk institutts IT-divisjon under navnet DIANA. Rebecca Rudsar var, sammen med Foss, en nøkkelperson for å få på plass og drive det operasjonelle prognosesystemet som startet opp våren 1986, med alt det medfører av krav om regularitet og tidsfrister for produktleveranser.

Modellsystemet ble stadig utviklet etter hvert som tilgangen på regnekraft økte. Først ble modellen kjørt med 150 km gitteravstand og 10 nivåer vertikalt på et stort område på den nordlige halvkule og et lite område med 50 km oppløsning nestet inn i dette. Etter at DNMI fra 1987 fikk tilgang til det nasjonale anlegget CRAY X-MP/28 ved RUNIT¹²⁴ (Regnesenteret ved Universitetet i Trondheim), ble modellen oppgradert og kjørt med 50 km oppløsning og 18 nivåer vertikalt på stort område (LAM50s, «SuperLAM») og med 25 km i det indre området (LAM25s).¹²⁵ Anstein Foss gjorde det aller meste av jobben med å «porte» og vektorisere koden i henhold til effektiv utnyttelse av CRAY-maskinen.

Polare Lavtrykk. Som allerede nevnt ble modellsystemet et viktig verktøy for studier av potensielt farlige virvler i Barentshavet og Norskehavet. Dette ble hovedsakelig gjort etter det store norske prosjektet om polare lavtrykk ledet av Magne Lystad 1983–1985.¹²⁶ En rekke publikasjoner som

124 I 1992 ble regneanlegget i Trondheim oppgradert til en CRAY Y-MP/464, i 1995 til CRAY J90 og dernest CRAY T3E med 64 noder. X-MP-maskinen hadde en ytelse på 0.5 Gigaflops, mens T3E hadde snaut 40. En moderne smarttelefon har mange ganger denne ytelsen.

125 Grønås, S., 1990. Early results with the new Norwegian high resolution operational NWP models. HIRLAM Workshop on Mesoscale Modelling Copenhagen, Denmark 3–5 September 1990. HIRLAM Tech. Rep. No. 8, s. 127–136.

126 Lystad, M., 1986. *Polar lows in the Norwegian, Greenland and Barents Sea. Final report of the Polar Lows Project.* The Norwegian Meteorological Institute, Oslo – og Rasmussen, E.A. & Lystad, M., 1987. The Norwegian Polar Low Project: A summary of the International Conference on Polar Low. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 68, 801–816.

omfattet numerisk modellering av polare lavtrykk med ulike konfigurasjoner av NorLAM, kom ut i årene etter. Disse fikk betydelig internasjonal oppmerksomhet ikke minst takket være den faglige og tekniske «state-of-the-art»-statusen til NorLAM.¹²⁷

Universitet i Bergen. I 1986 ble Bergen Scientific Centre (BSC) opprettet i tilknytning til universitetet. UiB fikk dermed tilgang til en av den tidens aller kraftigste regnemaskiner (IBM 3090), og ikke lenge etter ble Hilding Sundqvist professor i meteorologi ved Geofysisk institutt, UiB. Sundqvist kom fra et lektorat ved MISU, Stockholm, der han blant annet hadde arbeidet med utvikling av et helt nytt skjema for parameterisering av skyer og nedbør i numeriske modeller. Sammenfallet i tid av DNMI's nyutviklede NorLAM, ansettelsen av Sundqvist ved UiB og opprettelsen av BSC med en superdata-maskin førte raskt til et meget fruktbart samarbeid. Sundqvist returnerte til MISU der han ble professor i 1989.

NorLAM ble tilrettelagt for IBM 3090-maskinen med hjelp av Foss, Grønås og Nordeng, og Sundqvist brukte modellen til å fortsette sine studier av skyfysikk og koblingen til dynamiske atmosfærefenomener. En rekke studenter fikk dermed sin hovedfags- og forskerutdannelse med NorLAM som et av verktøyene. Dette omfattet blant andre Jón Egill Kristjánsson, Erik Berge, Frode Flatøy og Nils Gunnar Kvamstø.¹²⁸

-
- 127 Grønås, S., Foss, A. & Lystad, M., 1987. Numerical simulations of polar lows in the Norwegian Sea. *Tellus*, 39A, 334–353 – og Midtbø, K.H., Grønås, S., Lystad, M. & Nordeng, T.E., 1989. Analyses of polar lows in the Norwegian Sea with a mesoscale limited area NWP system. In: Polar/Arctic lows (red. Paul Twitchell, Erik Rasmussen & Ken Davidson). A. Deepak Publishing – og Nordeng, T.E., 1990. A model-based diagnostic study of the development and maintenance mechanism of two polar lows. *Tellus*, 42A, 92–108 – og Nordeng, T.E. & Rasmussen, E.A., 1992. A most beautiful polar low. A case study of a polar low development in the Bear Island region. *Tellus*, 44A, 81–99.
- 128 Sundqvist, H., Berge, E. & Kristjánsson, J.E., 1989. Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale NWP model. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 1641–1657 – og Kvamstø, N.G., 1993. An Investigation of the Cumulus Cloudiness Parameterization in Northerly flows in the Norwegian Sea. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1434–1449.

2.6 Utvikling av europeisk samarbeid om LAM-NWP

Modeller for operasjonell numerisk værvarsling (NWP) på begrenset område (Limited Area Model, LAM) i Europa har siden slutten av 1980-tallet hovedsakelig vært utviklet i konsortier av samarbeidende nasjonale meteorologiske tjenester. HIRLAM¹²⁹ var det første av disse konsortiene, etablert i 1985 i Norden og senere utvidet med andre medlemmer.

Andre europeiske konsortier er per 2021: ALADIN¹³⁰ med Météo-France som faglig sentralt medlem hadde oppstart i 1991 og som er en del av modellsystemet IFS¹³¹; LACE¹³² har siden 1994 utgjort et konsortium av land i Sentral-Europa tilknyttet ALADIN; COSMO¹³³ ble grunnlagt mellom den tyske og sveitsiske værtjenesten i 1998, men utvidet i 1999; SEECOP¹³⁴ ble etablert i 2015 som det siste. UK MetOffice¹³⁵ er et selvstendig senter med samme status som et konsortium.

Siden januar 2021 har HIRLAM og ALADIN/LACE inngått et nytt samarbeid under navnet ACCORD¹³⁶ med til sammen 26 deltagerland. Dette samarbeidet startet med planer omkring 2005/2006 under navnet HARMONIE,¹³⁷ da HIRLAM gikk over fra å være en serie prosjekter å lengde tre år, til et program med fem års faser. En ikke ubetydelig forskjell i samarbeidskultur og de operasjonelle ambisjonene med modellsystemene har gjort at en fullstendig overgang til ett felles konsortium er satt til 2025. Derfor er HIRLAM, ALADIN og LACE ennå aktive i 2022, og antagelig fram til og med 2025. Kartet er en summarisk oversikt over konsortiene.

129 High Resolution Limited Area Model (<https://hirlam.org/>).

130 Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International (<http://www.umr-cnrm.fr/aladin/>).

131 IFS=Integrated Forecast System som utvikles i samarbeid med ECMWF.

132 RC LACE = Regional Co-operation for Limited Area modelling in Central Europe (rclace.eu).

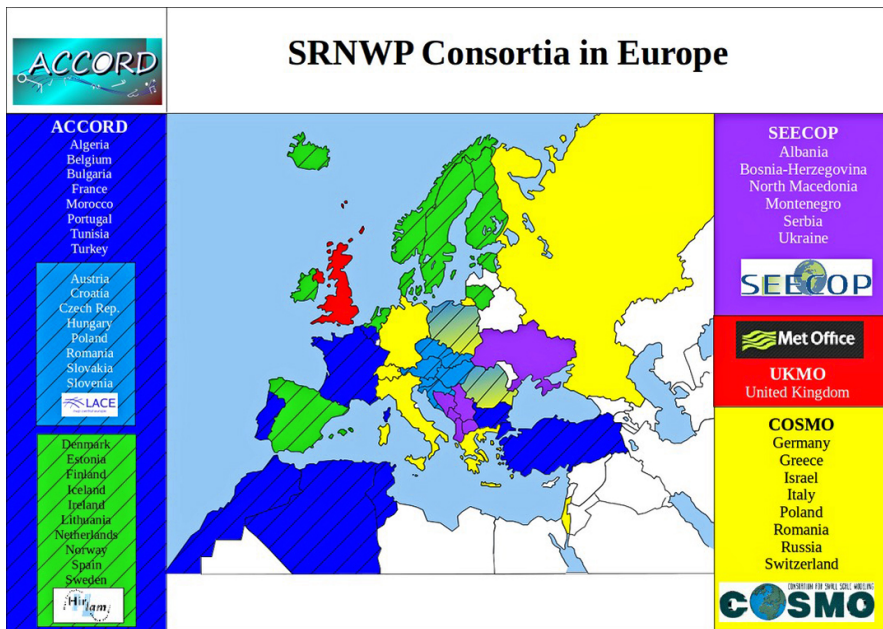
133 Consortium for Small-scale Modeling (<https://www.cosmo-model.org/>).

134 South-East European Consortium for Operational Weather Prediction (<http://seecop.meteo.co.me/>).

135 <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>

136 A Consortium for Convection-scale modelling Research and Development (<http://www.accord-nwp.org/>) Medlemmer: HIRLAM (Danmark, Estland, Finland, Island, Irland, Litauen, Nederland, Norge, Spania, Sverige); ALADIN (Algerie, Østerrike, Belgia, Bulgaria, Kroatia, Tsjekkia, Frankrike, Ungarn, Marokko, Polen, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Tunis, Tyrkia); LACE (Østerrike, Kroatia, Tsjekkia, Ungarn, Polen, Romania, Slovakia, Slovenia). http://www.umr-cnrm.fr/accord/IMG/pdf/matrix_accord.pdf

137 Hirlam-Aladin Research towards Meso-scale Operational NWP in Europe.



Figur 2.1 Oversikt over SRNWP-konsortier i 2021 (fra: <http://srnwp.met.hu/>)

EWGLAM, SRNWP og Eumetnet. I tillegg til de formelle konsortiene om utvikling av systemer for NWP LAM i Europa er det organisert faglig samarbeid mellom konsortiene og deres medlemslands meteorologiske tjenester. EWGLAM (European Working Group on Limited Area Modelling) startet med et møte ved SMHI i Norrköping 8.–11. oktober 1979, og var opprinnelig en løselig organisert faglig diskusjonsklubb med årlige møter lenge før noe formelt konsortium var påtenkt. Hensikten var å dele relevante vitenskapelige ideer, framskritt og praktiske erfaringer mellom forskere og operasjonelt ansvarlige på en åpen og uforpliktende måte. Det første EWGLAM-møtet arrangert av Meteorologisk institutt var i oktober 1984, nr. seks i rekken.

EWGLAM ble mer formalisert da SRNWP (Short-Range NWP) ble stiftet ved Météo-France i 1993. SRNWP er den viktigste formaliserte arena for kontakt mellom de ulike NWP-konsortiene i Europa. Det første møtet var ved SMHI i Norrköping sammen med det årlige EWGLAM-møtet i 1994. I 2000 ble SRNWP et koordinert program (C-SRNWP) under Eumetnet (European Network of Meteorological Services) med finansiering av et

lite sekretariat (Sveits, 2000–2006, og dernest Ungarn).¹³⁸ Land som ikke er med i Eumetnet, kan også delta i SRNWP siden noen av NWP-konsortiene inkluderer land utenfor Europa.

Gjennom formelle beslutninger i Eumetnet defineres fra tid til annen egne programmer med faglig og operasjonelt fokus under SRNWP. Slike skal støtte opp om medlemslandenes muligheter, slik som å kjøre NWP-modeller, utveksle data, bruke modelldata i værtjenesten og vurdere NWP-varslenes kvalitet på en konsistent måte. I slike tilfeller blir ett land valgt som faglig og administrativt ansvarlig for aktivitetene med en viss økonomisk støtte fra Eumetnet. Det kreves enstemmighet i Eumetnets råd (bestående av værtjenestens administrerende direktører) for å starte slike satsinger. Eksempler på slike programmer er ett om interoperabilitet og ett om verifikasjon (begge ledet av UK MetOffice) og utvikling av probabilitiske prognoser (ledet av det spanske meteorologiske institutt, AEMET).

Under SRNWP er det også organisert «Expert Teams» (ET) med to medlemmer fra hvert konsortium. Disse fokuserer på spesielle faglige spørsmål i tilknytning til NWP. For tiden (2022) er det åtte slike,¹³⁹ se tabellen.

Tabell 2.1 Ekspertgrupper innenfor C-SRNWP som er et koordinert program under European Network of Meteorological Services (Eumetnet).

C-SRNWP «Expert Teams» (2022)
Dataassimilasjon
Dynamikk og kobling ved laterale render
Tilknytning til anvendelser
Fysisk parameterisering (prosesser i luft)
Prediktabilitet og ensemble-prognoser (EPS)
Bakken og prosesser i jorda (modell og dataassimilasjon)
System-aspekter
Verifikasjon

¹³⁸ Sekretariatet for C-SRNWP har web-side: <http://srnwp.met.hu/>

¹³⁹ http://srnwp.met.hu/Expert_teams/composition.html

2.6.1 HIRLAM – Det nordiske samarbeidet om en «High Resolution Limited Area Model»

I 1982 ble det nedsatt en nordisk arbeidsgruppe for å utrede mulighetene for et faglig samarbeid mellom de statlige meteorologiske instituttene med formål å utvikle en felles nordisk atmosfæremodell for numerisk værvarsling med høy oppløsning: High Resolution Limited Area Model (HIRLAM).¹⁴⁰ Initiativet til dette var trolig svensk.¹⁴¹ Suksessen med det europeiske samarbeidet om ECMWF – der Norge ikke var med på det tidspunktet – var en motivasjon i tillegg til de rent faglige problemstillingene.

I 1982 hadde ECMWF daglig beregnet globale prognoser fram til og med ti døgn i over to år (siden 1. august 1979) med produkter fram til døgn sju distribuert til brukere. Vakthavende meteorolog hadde også tilgjengelig globale prognoser over flere døgn fra UK MetOffice, NMC (USA, senere National Center for Environmental Prediction, NCEP) og noen få andre sentre. Den horisontale maskevidden i de globale modellene var typisk 200–400 km med 10–20 nivåer vertikalt, som er altfor grovt til å kunne oppløse geografiske detaljer i Skandinavia eller fysiske prosesser i spesifikke værsystemer i regionen.

HIRLAM-samarbeidet var først organisert i seks prosjekter av varighet tre år som fulgte etter hverandre (HIRLAM-1 til HIRLAM-6). De var finansiert gjennom personell fra de deltagende instituttene stilt til rådighet i prosjektet og hadde i tillegg finansiell støtte fra Nordisk ministerråd (NMR). Samarbeidet fortsatte som femårige programmer, HIRLAM-A (2006–2010), HIRLAM-B (2010–2015) og HIRLAM-C (2016–2020). HIRLAM-C er siden utvidet til 2025 parallelt med at ACCORD er igangsatt, for å sikre at HIRLAM-landenes NWP-tjenester får en sømløs overgang når ACCORD overtar som felles konsortium.

I det følgende beskrives viktige utviklinger i HIRLAM siden starten omtrent fram til dagens situasjon (høst 2022). Dette er ingen fullstendig

140 Arbeidsgruppen besto av ledere for de avdelinger som hadde ansvar for forskning og utvikling knyttet til NWP ved de nordiske meteorologiske instituttene. Fra Norge deltok Anton Eliassen, som da var daglig leder for forskningsavdelingen ved DNMI. Det har p.t. ikke latt seg gjøre å finne dokumentasjon fra drøftingene.

141 Dette er ikke dokumentert formelt, men formuleringer i et foredrag av Per Undén ved SMHI i forbindelse med HIRLAMs 20-årsjubileum antyder at SMHIs Svante Bodin og Per Undén var sentrale da diskusjonene startet. Se lysark nr. 8 i: <https://www.slideshare.net/punden/hirlam20>

beskrivelse, og det er helt sikkert noe som kan savnes, dels fordi forfatteren i lange perioder har vært perifer ift. HIRLAM, og dels fordi viktig dokumentasjon mangler. Særlig i perioden etter 2000 har jeg valgt å vektlegge viktige bidrag fra norske forskere og utviklere.

HIRLAM 1; 1985–88: Bennert Machenhauer, DMI. Den offisielle starten på HIRLAM ble 1. september 1985.¹⁴² Dette første HIRLAM-prosjektet var finansiert av deltagerlandene med økonomisk støtte fra Nordisk ministerråd, og var et FoU-prosjekt over tre år. Prosjektlederen Bennert Machenhauer fra DMI startet allerede i februar 1985. Prosjektet var en kombinasjon av et senter ved DMI i København og forskere som arbeidet ved sitt eget institutt i hvert av deltagerlandene. At man fikk på plass en samlet prosjektgruppe, ble regnet som nødvendig for å sikre et fruktbart samarbeid, og HIRLAM 1 ble en suksess som la grunnlaget for den videre utviklingen de neste tiårene, og samarbeidet er i høyeste grad aktivt per dags dato (2022).

I tillegg til prosjektlederen besto den sentrale gruppen ved HIRLAM-senteret fra starten av Jan Erik Haugen (Meteorologisk institutt, DNMI), Niels Woetmann Nielsen, Bent Hansen Sass (DMI), Simo Järvenoja (FMI) og Nils Gustafsson som alternerte med Per Kållberg (SMHI). Ved hjemmeinstituttene arbeidet Thor Erik Nordeng (DNMI), Kalle Eerola og Rauno Nieminen (FMI), samt Per Kållberg alternerende med Nils Gustafsson (SMHI). Island var kun assosiert medlem de første årene, mens det nederlandske meteorologiske institutt (KNMI) var observatører og ble fullt medlem det siste året av HIRLAM 1. Da KNMI kom med, ble den sentrale prosjektgruppen styrket med Bronno de Haan, og med Gerard Cats og Leo M. Hafkenscheid ved hjemmeinstituttet. Totalt var 15–20 forskere knyttet til samarbeidet under HIRLAM 1.

Prosjektet ble formelt styrt av et råd (Council) bestående av direktørene ved de meteorologiske instituttene i deltagerlandene. I tillegg ble det etablert en teknisk og vitenskapelig komité (TSC) som faglig mellomledd mellom prosjektlederen og Council, som under HIRLAM 1 besto av Anton Eliassen / Sigbjørn Grønås (DNMI), Lars Moen (SMHI), Juhanni Rinne (universitetet i Helsinki) og Erik Busch / Anne Mette Jørgensen (DMI). KNMI var repre-

142 Machenhauer, B. (red.), 1988. *Hirlam final report*. Hirlam Technical Report No. 5. <http://hirlam.org/index.php/publications-54/hirlam-technical-reports-a>.

sentert med A.P.M. Baede som observatør. Det ble også etablert en egen arbeidsgruppe som hadde til oppgave å undersøke mulighetene for operasjonell NWP med HIRLAM-modellen.

Formålet med HIRLAM 1 var nedfelt i de følgende fire punktene:

- (i) to develop an operational system for short range forecasting based on a high resolution model and a system for analysis and data assimilation,
- (ii) to prepare all aspects of the operational utilization of such a system at the Nordic weather services including the need for initial data,
- (iii) to carry out the necessary research and development in order to reach the objectives mentioned above,
- (iv) to develop the complete software in such a way that it can be implemented at the Nordic meteorological institutes.

Disse delmålene var ambisiøse for et prosjekt over tre år. Det kan diskuteres i hvilken grad (ii) og (iv) var gjennomført til fulle da prosjektet var ferdig i august 1988. Delmål (i) og (iii) var alene ambisiøse nok, og var i seg selv nok til å sikre at HIRLAM 1 ble en suksess som ble fulgt opp med HIRLAM 2 for 1989–1991.

En viktig årsak til suksessen var at flere forskere i de nordiske landene var høyt kompetente innen NWP og hadde god erfaring med relevante modellverktøy. I løpet av det første året ble det gjort praktiske eksperimenter («baseline experiments») med noen av disse modellene.¹⁴³ Den norske NorLAM ble anvendt i disse eksperimentene med 150 km maskevidde på et stort geografisk område, mens versjonen med 50 km maskevidde kun ble anvendt på et lite område. Imidlertid fungerte eksperimenter med en dansk-svensk versjon av ECMWFs modell, utviklet og tilpasset for et begrenset område av Per Undén ved SMHI, bedre. Riktignok hadde den modellen mye enklere beskrivelse av fysiske prosesser enn i NorLAM (og i den opprinnelige

143 Gustafsson, N., Järvenoja, S., Källberg, P. & Woetmann Nielsen, N., 1986. *Baseline experiments with a high resolution limited area model*. HIRLAM T. R. No. 1.

Nordeng, T.E. & Foss, A., 1987. *Simulation of storms within the HIRLAM Baseline experiment with the Norwegian mesoscale limited area model system*. HIRLAM T. R. No. 2.

Gustafsson, N. & Järvenoja, S., 1987. *Sensitivity tests with the limited area version of the ECMWF analysis scheme*. HIRLAM T. R. No. 3.

ECMWF-modellen),¹⁴⁴ men dekket et vesentlig større geografisk område enn NorLAM og med en halv grads (ca. 55 km) oppløsning, slik at man fikk studert effekter av modellens egne startbetingelser over en lengre periode før de mer storskala dataene som ble foreskrevet ved de åpne rendene, begynte å dominere løsningen. Slik fikk prosjektgruppen relevant praktisk erfaring og teoretisk forståelse som kom til nytte da den første modellen – «HIRLAM Level 1» – ble utviklet i andre del av prosjektet.

Dette egenutviklede systemet brukte endelige differanser representert i et nett av gitterpunkter, inkluderte dataassimilasjon av observasjoner for objektive analyser basert på statistisk interpolasjon (re. Eliassens metode¹⁴⁵), kontroll av «meteorologisk støy» gjennom ulineær filtrering av normale moder, og behandling av data fra globale modeller ved de åpne rendene. Modellens fysiske prosesser var avanserte etter den tidens standard, og inkluderte stratiform (storskala) og konvektiv (småskala) nedbør, effekter av turbulens, kortbølget solstråling og langbølget jordstråling, samt utveksling av energi, bevegelsesmengde (friksjon) og fuktighet med bakken. Systemet inkluderte også verktøy for pre- og postprosessering av data, og var således et fullstendig system for NWP på et begrenset beregningsområde. Det var dimensjonert til å kunne kjøres opp til to døgn fram i tid med minste maskevidde på 0,5 grader, forutsatt at observasjoner og data ved de åpne rendene var tilgjengelig i sann tid.

Da HIRLAM 1-prosjektet var ferdig i august 1988, var systemet ikke tatt operasjonelt i bruk ved noen av de deltagende meteorologiske instituttene. Det var det finske FMI som i januar 1990 først tok det i bruk operasjonelt, mens det danske DMI fulgte opp et år etter i januar 1991.¹⁴⁶ Objektive og subjektive verifikasjoner av de operasjonelle systemene indikerte at systemets kvalitet kunne sammenlignes med dem fra større europeiske sentre.

HIRLAM 2; 1989–91: Nils Gustafsson, SMHI. Andre fase av HIRLAM startet i januar 1989, fem måneder etter avslutningen av første fase. Fortset-

144 Undén, P., 1982. *The Swedish Limited Area Model*. RMK35. SMHI, Norrköping, Sweden.

145 Eliassen, A., 1954. *Provisional report on calculation of spatial covariance and autocorrelation of the pressure field*, Rep. 5, Norwegian Academy of Sciences, Institute of Weather and Climate Research, Oslo, Norway, 12 pp.

146 Gustafsson, N., 1993. *HIRLAM 2 Final Report*. HIRLAM T.R. No. 9. March 1993, Norrköping, Sweden. 126 pp.

telsen av HIRLAM ble gjennomført desentralisert, dvs. uten et felles senter. Prosjektlederen for HIRLAM 2 var Nils Gustafsson ved SMHI. Nederland var fullt med i prosjektet fra og med det siste året av HIRLAM 1, og i april 1989 ble også Irland med. Direktørene utgjorde det øverste styrende organet for HIRLAM 2 (Council) med åtte eksperter i en teknisk-vitenskapelig komité (TSC). Dette systemet er siden blitt brukt i styringen av samarbeidet i HIRLAM, men der TSC nå kalles HAC (HIRLAM Advisory Committee).

Formålet med HIRLAM 2 ble nedfelt i et «MoU» (Memorandum of Understanding) signert av de deltagende institutters direktører.¹⁴⁷ Prosjektgruppen var en ekspertgruppe som de deltagende institutter kunne konsultere når operasjonell produksjon med HIRLAM-systemer skulle implementeres og brukes. Forskning og utvikling omfattet videre utvikling av «HIRLAM Level 1» med maskevidde 30–50 km med vekt på forbedret dataassimilasjon og kostnadseffektive numeriske metoder og parameterisering av fysiske prosesser. Videre skulle det utvikles en testversjon med finere oppløsning (10–30 km maskevidde), med vekt på å estimere nytten i forhold til kostnadene og mulighetene for å gjøre bruk av nye fjernmålte observasjoner som var planlagt.

I tillegg til prosjektlederen ble Gerard Cats fra nederlandske KNMI engasjert som systemansvarlig. Andre bidrag var «in kind» fra medlemslandene, og omfattet 36 forskere, hvorav tre ved universiteter. Fra DNMI bidro Thor Erik Nordeng, Lars Anders Breivik, Jan Erik Haugen, Jón Egill Kristjánsson og Mariken Homleid. Særlig Haugens bidrag til utviklingen av kjernen i den numeriske modellkoden var viktig for HIRLAM gjennom flere faser.¹⁴⁸ Han avla doktorgrad i 1992 på en avhandling basert på sitt arbeid med numeriske metoder og initialisering. Kristjánsson bidro med et nytt skjema for parameterisering av skyer og nedbør.

HIRLAM 3; 1992–96: Erland Källén, MISU. Tredje fase av HIRLAM ble ledet av professor Erland Källén fra universitetet i Stockholm. Det er

147 Gustafsson, N., 1993. HIRLAM 2 Final Report. HIRLAM T.R. No. 9. March 1993, Norrköping, Sweden. 126 pp.

148 Haugen, J.-E. & Machenhauer, B., 1993. A Spectral Limited-Area Model Formulation with time-dependent boundary conditions applied to the shallow-water equations. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2631–2636 – og McDonald, A. & J.-E. Haugen, 1993. A two time-level, three-dimensional, semi-Lagrangian, semiimplicit limited area gridpoint model of the primitive equations. Part II: Extension to hybrid vertical coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, 121(7), July 1993.

dessverre ikke funnet noen formell sluttrapport fra HIRLAM 3, men et oppgradert modellsystem, HIRLAM Level 2.5, ble utviklet.¹⁴⁹ Det spanske meteorologiske institutt (INM, nå AEMET) ble fullt medlem av HIRLAM-samarbeidet i løpet av 1994.¹⁵⁰

HIRLAM 4; 1997–1999: Peter Lynch, Met Éireann – The Irish Meteorological Service. I HIRLAMs fjerde fase ble prosjektlederen hjulpet av en ledergruppe bestående av prosjektlederen selv og tre assisterende prosjektledere med ansvar for hhv. dataassimilasjon og analyse, modellering og systemledelse. Sigbjørn Grønås, som var professor ved UiB, var prosjektleder for modellering i en del av HIRLAM 4. Instituttens direktører utgjorde HIRLAMs råd (Council) mens HIRLAMs faglige rådgivningskomité (HAC) besto av representanter fra hvert land og behøvde ikke å komme fra de meteorologiske instituttene. HIRLAM 4 åpnet faglig samarbeid med NWP-utviklerne ved Météo-France i denne fasen, og de hadde også en representant i HAC.

I prosjektlederens sluttrapport¹⁵¹ ble de viktigste framskrittene presentert. Verd å nevne er bedret kvalitet over de tre årene på ett-døgns prognoser av vind og bakketrykk på 55 observasjonsstasjoner i EWGLAM-nettet. For temperatur var kvaliteten uforandret. Det ble arbeidet med å utvikle dataassimilasjon basert på variasjonsanalyse istedenfor det til da brukte statistisk optimal interpolasjon. Med variasjonsanalyse kan det dras nytte av et vell av indirekte asynoptiske og fjernmålte data, slik som TOVS/ATOVS fra satellitt, radardata og bakkebasert GPS-data.^{152, 153} I første rekke ble det utviklet

149 Källén, E. (red.), 1996. HIRLAM Documentation Manual. System 2.5. Available from SMHI, Norrköping, Sweden.

150 Navascués, B., Calvo, J., Morales, G., Santos, S., Callado, A., Cansado, A., Cuxart, J., Díez, M., del Río, P., Escribà, P., García-Colombo, O., García-Moya, J.A., Geijo, C., Gutiérrez, E., Hortal, M., Martínez, I., Orfila, B., Parodi, J.A., Rodríguez, E., Sánchez-Arriola, J., Santos-Atienza, I. & Simarro, J., 2013. *Long-term verification of HIRLAM and ECMWF forecasts over Southern Europe.* History and perspectives of Numerical Weather Prediction at AEMET. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.01.010>. s. 1.

151 https://maths.ucd.ie/~plynch/Publications/H4FR_Content.html

152 Lindskog, M., Gustafsson, N., Navascués, B., Mogensen, K.S., Huang, X.-Y., Yang, X., Andrae, U., Berre, L., Thorsteinsson, S. & Rantakokko, J., 2001. Three-dimensional variational data assimilation for a limited area model. Part II: Observation handling and assimilation experiments. *Tellus*, 53A, 447–468 – og Lindskog, M., Järvinen, H. & Michelson, D.B., 2000. Assimilation of radar radial winds in the HIRLAM 3D-Var. *Phys. Chem. Earth*, 25B, 1243–1249, [http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00187-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00187-8)

153 Advanced TIROS Operational Vertical Sounder (ATOVS) på the NOAA-15-satellitten som ble satt i bane i mai 1998. TOVS var forløperen (TIROS Operational Vertical Sounder). GPS (Global

kode for 3D-Var,¹⁵⁴ men det ble også eksperimentert med det vesentlig mer beregningskrevende systemet 4D-Var.¹⁵⁵ Initialisering og kontroll av meteorologisk støy ble innovativt løst gjennom prosjektlederens egne bidrag, digitalt filter.¹⁵⁶

En rekke nyutviklinger som skulle få et langt liv i HIRLAM, ble startet i fjerde fase. ISBA-skjemaet¹⁵⁷ for beregning av utveksling av varme, vann-damp og moment (friksjon) mellom bakken og atmosfæren ble tilpasset. To alternative parameteriseringer av skyer og nedbør ble utviklet og testet ut. STRACO (forkortet fra «Stratiform and Convective») beregner konveksjon og storskala skyer og nedbør på en enhetlig måte, og er utviklet ved det danske meteorologiske institutt.¹⁵⁸ Det alternative oppsettet er en kombi-

Positioning System) er i dag (2022) et nettverk bestående av omtrent 30 satellitter som er plassert i bane rundt jorden av USAs forsvar, og som brukes til satellittnavigasjon.

- 154 Gustafsson, N., 1999. The numerical scheme and lateral boundary conditions for the spectral HIRLAM and its adjoint. ECMWF Seminar Proceedings. Recent developments in numerical methods for atmospheric modelling. ECMWF, Reading, UK, 7–11 September 1998, s. 335–363 – og Gustafsson, N., Berre, L., Hörnquist, S., Huang, X.-Y., Lindskog, M., Navascués, B., Mogensen, K.-S. & Thorsteinsson, S., 2001. Three-dimensional variational data assimilation for a limited area model. Part I: general formulation and the background constraint. *Tellus*, 53 A, 425–446. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0870.2001.00425.x>
- 155 Variasjonsanalyse innebærer å finne en tilstand for modell-atmosfæren som minimaliserer et integrert mål for forskjellen mellom modellens beregnede tilstand over et intervall på noen få timer og observasjoner tatt i det samme tidsintervallet. Med tredimensjonal variasjonsanalyse (3D-Var) anslås at observasjonene tatt over tidsintervallet gjelder for ett gitt analysetidspunkt. Med fire-dimensjonal analyse (4D-Var) antas observasjonene å gjelde ved de tidspunktene de faktisk er tatt, og den resulterende analysen er en tidsutvikling over det valgte tidsintervallet. Modellprognoser beregnes ut fra det siste tidspunktet av dette intervallet. Til dette formålet konstrueres en tangent-lineær versjon av modellen som beregner avviket fra den opprinnelige ulineære modellberegningen forover i tid, mens dens adjungerte integreres baklengs. Beregningene fram og tilbake gjentas som en iterasjon der også den ulineære beregningen kan oppdateres, og en tilnærmet løsning til sist finnes etter et antall gjentagelser som bestemmes på forhånd. Et alternativ til tradisjonell 4D-Var er «4D-EnsVar» der man bruker ensembler direkte når man minimaliserer avviket mellom modellberegninger og observasjoner.
- 156 Lynch, P. & Huang, X.-Y., 1992. Initialization of the HIRLAM model using a digital filter. *Mon. Weather Rev.* 120, 1019–1034. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493\(1992\)120b1019:IOTHMU>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0493(1992)120b1019:IOTHMU>2.0.CO;2)
- 157 ISBA = Interactions between Surface–Biosphere–Atmosphere. Noilhan, J. & Mahfouf, J.-F., 1996. The ISBA land surface parameterisation scheme. *Global Planet. Change*, 13, 145–159.
- 158 Sass, B.H., Nielsen, N.W., Jørgensen, J.U. & Amstrup, B., 1999. *The Operational HIRLAM System at DMI*. DMI Tech Rep. no 99-21. Danmarks Meteorologiske Institut, Copenhagen, Denmark. Se også: Undén mfl., 2002. *The HIRLAM 5 Scientific Documentation*. 144 sider. SMHI, Norrköping, Sverige.

nasjon av Kain-Fritsch-skjemaet for byger og konveksjon¹⁵⁹ og skjemaet til Rasch og Kristjánsson for storskala stratiform nedbør og skydannelse.¹⁶⁰

I HIRLAM 3 og 4 ble det også arbeidet med programmeringstekniske løsninger for å kunne kjøre modellen effektivt på maskiner med parallelt arbeidende prosessorer. Her bidro Meteorologisk institutts forskere betydelig.¹⁶¹ En egen programpakke, HIRVDA, for variasjonsanalyse med prosessering av utvalgte indirekte observasjonsdata, ble utviklet. For effektiv kommunikasjon mellom deltagerne i prosjektet ble det satt opp en webportal for intern utveksling av informasjon (kalt HeXnet). Et system for versjonskontroll av HIRLAM-modellen ble implementert.

HIRLAM 5, 6; 2000–2005: Per Undén, SMHI. Det vitenskapelige arbeidet i HIRLAM ble grundig rapportert i 2002.¹⁶² Modellsystemet var i en fase som inkluderte simulering av komplekse prosesser som sammen kan påvirke atmosfæriske bevegelser og karakteristisk vær. Selve systemarbeidet omfattet dels utvikling av prosedyrer for dokumentasjon, verifikasjon, diagnose og effektiv utnyttelse av tilgjengelig maskinvare, og dels utvikling og tilpassing av programvare som tillot å kjøre modellsystemet på ulike plattformer. Ved Meteorologisk institutt har Ole Vignes og, i senere HIRLAM-faser, Trygve Aspeli mfl. vært viktige i systemarbeidet.

Ved anvendelse av HIRLAM-systemet kunne de enkelte medlemslands institutter velge mellom flere alternative oppsett. For modelldynamikken kunne velges mellom semi-lagrangesk / semi-implisitt og spektral diskretisering. Jan Erik Haugen hadde vært sentralt med i utviklingen av begge disse. Som nevnt under fase fire kunne det også velges mellom to skjemaer for parameterisering av skyer og nedbør. Det nyeste skjemaet for beregning av flukser i atmosfærens grenselag i de nederste få hundre meter over bak-

159 Kain, J.S. & Fritsch, J.M., 1993. Convective Parameterisation for Mesoscale Models: The Kain-Fritsch scheme. In: *The representation of cumulus convection in numerical models*. Red: K.A. Emanuel & D.J. Raymond. *AMS Monograph*, 46, 246p.

160 Rasch, P.J. & Kristjánsson, J.E., 1998. A comparison of the CCM3 model climate using diagnosed and predicted condensate parameterizations. *J. Climatol.*, 11, 1587.

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

162 Undén mfl., 2002. *The HIRLAM 5 Scientific Documentation*. 144 sider. SMHI, Norrköping, Sverige.

ken, inkluderte prognostisk beregning av turbulent kinetisk energi som dermed kan drive med den midlere vinden, mens utveksling ved jordoverflaten inkluderte avansert beregning av varme og fuktighet i bakken (ISBA-skjemaet¹⁶³). Fjell og annen topografisk virkning på vindens variasjon med høyden ble også videreutviklet i denne fasen.

For dataassimilasjon og bestemmelse av initialtilstand var optimal statistisk interpolasjon ferdig utviklet, mens 3D-Var ble utviklet med kobling til fjernmålte, indirekte observasjoner. Harald Schyberg ved Meteorologisk institutt var HIRLAM-prosjektleder for observasjonsbruk i dataassimilasjon i HIRLAM 6 (2003–2005). Han og andre ved Meteorologisk institutt var sentrale, og til dels ledende i HIRLAM-samarbeidet, på utviklingen av å gjøre nytte av satellittobservasjoner i dataassimilasjon.

Særlig viktig var observasjoner i mikrobølgeområdet¹⁶⁴ der data ikke maskeres av skyer og det er mulig å skille mellom skyer og havis fra satellittens data. Instituttet ledet også arbeidet med assimilasjon av scatterometerdata til bestemmelse av vinden ved havoverflaten. I senere faser av HIRLAM har instituttet fått med assimilasjon av data fra nyere instrumenter som detekterer i infrarødt, for eksempel IASI-instrumentet (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer) i forbindelse med varsling av polare lavtrykk.¹⁶⁵ En del av disse satsingene ved Meteorologisk institutt er begrunnet med ansvaret for værvarslingen over områder der det er få eller ingen konvensjonelle observasjoner. Norsk Romsenter har støttet dette utviklingsarbeidet.¹⁶⁶

Meteorologisk institutt har også lenge hatt en viktig rolle innen iskartlegging fra satellittobservasjoner som del av en felles europeisk tjeneste for

163 Bringfelt, B., M. Heikinheimo, N. Gustafsson, V. Perov & A. Lindroth, 1999. A new land surface treatment for HIRLAM – Comparisons with NOPEX measurements. *J. of Agr. and Forest Met.*, 98.

164 Schyberg, H., T. Landelius, S. Thorsteinsson, F. Thomas Tveter, O. Vignes mfl., 2003. *Assimilation of ATOVS data in the HIRLAM 3D-Var system*. HIRLAM Technical Report No. 60, April 2003. Available from HIRLAM-5 Project c/o Per Undén, SMHI, S-60176 Norrköping, Sweden – og Schyberg, H., V.W. Thyness & F.T. Tveter, 2005. *AMSU-A assimilation over sea ice in HIRLAM 3D-Var: Impact studies for the period February–March 2005*. Norwegian Meteorological Institute Note no 13/2005. Available from the Norwegian Meteorological Institute, <http://www.met.no>

165 Randriamampianina, R., Iversen, T. & Storto, A., 2011. Exploring the assimilation of IASI radiances in forecasting polar lows. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 137, 1700–1715, <http://dx.doi.org/10.1002/qj.838>.

166 Innspill fra Harald Schyberg.

overvåking av havis. Innen NWP er dette relevant for bakkebeskrivelsen i modellområder som dekker deler havområder som er islagte hele eller deler av året.¹⁶⁷

HIRLAM A (2006–10), B (2010–15), C (2016–20, forlenget til 2025): Jeanette Onvlee, KNMI. Mot slutten av HIRLAM 6 ble utviklingen i HIRLAM-prosjektene fram til da og de videre utviklingsmulighetene evaluert av en internasjonal komité.¹⁶⁸ Flere viktige endringer ble fulgt opp ved videreføringen av HIRLAM. Konsortiet skulle fortsette desentralisert, men i stedet for treårige prosjekter ble HIRLAM-konsortiet definert som program med faser av varighet på fem år. Lederen fikk tydeligere styringsfullmakter ved at landene skulle stille til rådighet personressurser som lederen kunne disponere («core personnel»), i tillegg til at det ble utlyst prosjektlederstillinger for utvalgte områder (modell-dynamikk, fysisk parameterisering, dataassimilasjon, sannsynlighetsprognoser og modellsystemet). Ytterligere personell var med samtidig som de også hadde andre oppgaver ved moderinstituttet. Styringsdokumentene var (og er) en langsiktig vitenskapelig plan, og årlige svært detaljerte arbeidsplaner.

Av nye faglige satsinger som ble prioritert høyt i HIRLAM A, var særlig modellering med svært høy oppløsning (typisk 1–2,5 km maskevidde) med ikke-hydrostatisk dynamikk. Men også modeller for «den grå sone» inngikk, dvs. der byggevær og lignende fenomener bare er delvis oppløst av modellens maskenett, slik at prosesser også må parameteriseres (typisk 5–10 km maskevidde). Begge typer modellverktøy var kommet langt i utvikling innen ALADIN- og LACE-konsortiene i 2006 med den franske ikke-hydrostatiske AROME-modellen for de aller fineste oppløsningene, og LACE-konsortiets ALARO-modell for «den grå sone». ALADIN-konsortiets hovedmodell var sammenlignbar med HIRLAM-konsortiets.

Estland, som ble medlem av HIRLAM-konsortiet 1. januar 2007, hadde allerede utviklet en ikke-hydrostatisk modellversjon av HIRLAM som i prin-

167 Breivik, L.A.S., Eastwood, Ø., Godøy, H. Schyberg & Tonboe, R., 2001. Sea Ice products for EUMETSAT Satellite Application Facility. *Canadian Journal of Remote Sensing* 27(5), 403–410.

168 Evalueringsrapporten er i ettertid ikke funnet, men prosjektleder Undén (for 6. fase) henviste til den i et kort notat fra 2005 (http://www.arso.gov.si/ewglam_2005/presentations/01_hirlam.pdf). Han peker også på aktuelle utviklingstrekk i et foredrag i anledning at HIRLAM-samarbeidet var 20 år: The strategy of the new HIRLAM programme. Slides of talk, June 2005. (<https://www.umr-cnrm.fr/aladin/IMG/pdf/PERUNDEN.pdf>)

sippet kunne kjøres med svært høy oppløsning.¹⁶⁹ Satsingene i HIRLAM A betød at man likevel gikk bort fra videre satsing på den gamle HIRLAM-koden, og videre faser ble utviklet som et samarbeid med ALADIN, LACE og Météo-France. Dette medførte blant annet at Meteorologisk institutts modell ble en del av IFS-samarbeidet med ECMWF, som blant annet gir tilgang til mye ferdigutviklet programvare som er nødvendig for assimilasjon av fjernmålte data. I første omgang ble dette til HARMONIE (Hirlam Aladin Research towards Meso-scale Operational NWP In Europe), og siden 2021 ACCORD-konsortiet (A Consortium for Convection-scale modelling Research and Development), samtidig som HIRLAM C fortsatt drives parallelt fram til 2025. Det er HARMONIE-AROME som p.t. er det aktuelle modell-systemet.¹⁷⁰

En annen nyutvikling var at numeriske sannsynlighetsprognoser som reflekterer den aktuelle forutsigbarhet av været til enhver tid og på ethvert sted, ble tatt inn i HIRLAM A. Inspirert av det grensesprengende miljøet ved ECMWF for globale varsler over flere døgn og opp til sesonger, hadde det vært forskning på dette tema for regionale værprognoser blant annet ved UiO. Inger-Lise Frogner tok sin PhD på dette i 2001, og da hun fikk stilling ved Meteorologisk institutt utviklet hun dette videre.¹⁷¹ Iversen var prosjektleder i HIRLAM 2006–2011, med Frogner som «core person», og det ble utviklet en operasjonell pan-europeisk produksjon (Grand Limited-Area Model Ensemble Prediction System, GLAMEPS¹⁷²) innenfor HIRLAM-ALADIN som ble kjørt i sann tid ved ECMWF. Kai Sattler (Danmarks meteorologisk institutt, DMI) var sentral utvikler av systemet sammen med Xiaohua Yang (DMI)

169 HIRLAM Technical Reports, No. 48, 49 og 55. Viktigste bidrag fra Rein Rõõm og Aarne Männik ved universitetet i Tartu.

170 Bengtsson, L., Andrae, U., Aspelien, T., Batrak, Y., Calvo, J., de Rooy, W., Gleeson, E., Hansen-Sass, B., Homleid, M., Hortal, M., Ivarsson, K., Lenderink, G., Niemelä, S., Nielsen, K.P., Onvlee, J., Rontu, L., Samuelsson, P., Muñoz, D.S., Subias, A., Tijm, S., Toll, V., Yang, X., & Koltzow, M.Ø., 2017. The HARMONIE-AROME model configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP system. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 1919–1935, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0417.1>

171 Frogner, I.-L. & Iversen, T., 2002. High-resolution limited-area ensemble predictions based on low resolution targeted singular vectors. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 128, 1321–1341 – og Frogner, I.-L., Haakenstad, H. & Iversen, T., 2006. Limited-area ensemble predictions at the Norwegian Meteorological Institute, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 132, 2785–2808.

172 Iversen, T., A. Deckmyn, C. Santos, K. Sattler, J.B. Bremnes, H. Feddersen & I.-L. Frogner, 2011. A grand LAM-EPS (GLAMEPS) for operational use. *Tellus*, 63A, 513–530, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00507.x>

og Alex Deckmyn (Belgias meteorologiske institutt). Med en oppgradering i 2014 gikk dette systemet kontinuerlig fram til 2019.¹⁷³

Parallelt med utvikling og kjøring av GLAMEPS ble det i HIRLAM B (og senere C) arbeidet stadig mer med å utvikle et system med sannsynlighetsprognoser basert på full oppløsning av dyp konveksjon og bygevær. Da flere land fikk erfaring med AROME i egne områder, etterspurte HIRLAMs medlemmer stadig mer informasjon om sannsynlighetsprognoser for potensielt ekstremt lokalt vær. Frogner overtok som prosjektleder for dette i 2011, og utvikling av HarmonEPS fikk vind i seilene.¹⁷⁴ Dette er (ennå) ikke en felles pan-europeisk produksjon, men flere land kjører versjoner av systemet lokalt. I HIRLAM C ble Roger Randriamampianina (Meteorologisk institutt) prosjektleder for dataassimilasjon og bruk av observasjoner. Da ACCORD startet gikk han over i prosjektledelsen der, mens Frogner fortsatte i HIRLAM-konsortiet fram til 2025. Andrew Singleton (også Meteorologisk institutt) er «core person» for kvalitetssikring. Han har også utviklet et avansert og brukervennlig system for kvalitetssikring og evaluering av sannsynlighetsvarsler for HIRLAM og HARMONIE («harp»).

2.7 Noen trekk ved Meteorologisk institutts NWP siden HIRLAM

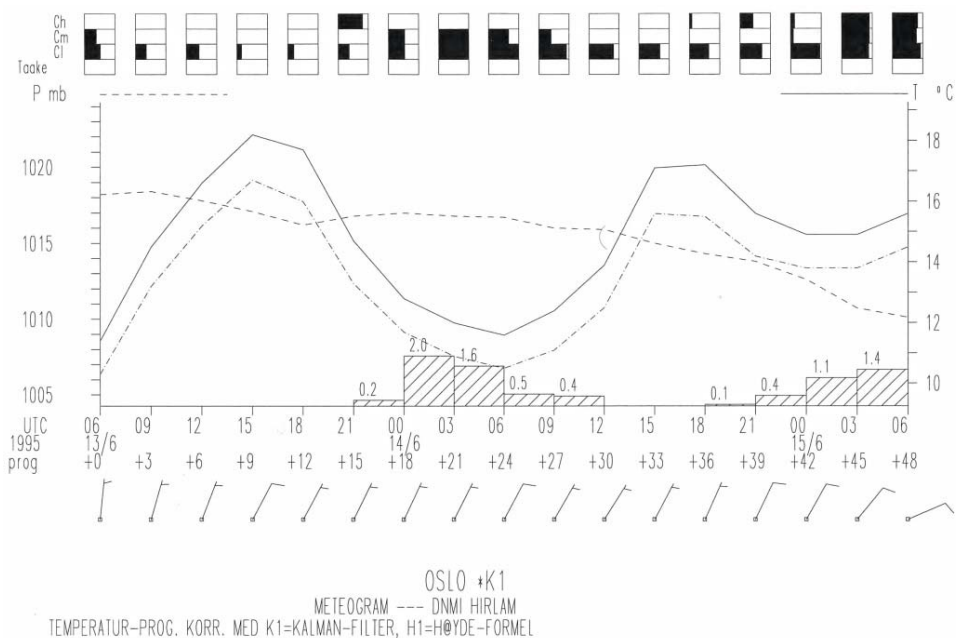
Finland ble i januar 1990 det første landet som kjørte HIRLAM operasjonelt, og har siden i mange år kjørt en versjon av modellen som regnes som en referanse (RCR, Regular Cycle of the Reference Model) etter at denne opprinnelig ble kjørt ved ECMWF.¹⁷⁵ At det hele tiden har vært definert referanseversjoner av HIRLAMs modeller, er et særtrekk ved HIRLAM-kon-

173 <https://www.ecmwf.int/en/newsletter/165/news/life-glameps>

174 Frogner, I.-L., Andrae, U., Bojarova, J., Collado, A., Escriba, P., Feddersen, H., Hally, A., Kauhanen, J., Randriamampianina, R., Singleton, A., Smet, G., van der Veen, S. & Vignes, O., 2019. HarmonEPS – The HARMONIE Ensemble Prediction System. *Weather and Forecasting*, 34, p. 1909–1937. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0030.1> – og Frogner, I.-L., Singleton, A.T., Koltzow, M.Ø. & Andrae, U., 2019. Convection-permitting ensembles: Challenges related to their design and use. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 145, 90–106, <https://doi.org/10.1002/qj.3525>

175 Eerola, K., 2013. Twenty-one years of verification from the HIRLAM NWP system. *Wea. Forecasting*, 28, 270–285, <https://doi.org/10.1175/WAFD-12-00068.1>

sortiet, som ikke bare stiller en modellkode til disposisjon for medlemmene, men hele produksjonssystemer fra observasjoner, dataassimilasjon, data ved de åpne grenseflatene, prognosemodellen, samt dokumentasjon av prognosenes kvalitet. De ulike landenes værtjenester kan sette opp sine systemer etter egne behov og tilgang til regnekraft, mens RCR sikrer at det fins oppsett som faktisk fungerer og evalueres. Danmark startet opp ett år etter Finland (januar 1991) og Sverige ved slutten av 1992. At Norge ikke startet opp før i juni 1995, skyldtes at Meteorologisk institutt allerede siden midten av 1980-årene hadde kjørt stadig oppdaterte versjoner av NorLAM operasjonelt. På det tidspunktet var HIRLAM operasjonell i alle de andre medlemslandene. Figuren viser det første meteogrammet som ble laget med HIRLAM (versjon 2.7) med 50 km maskevidde.



Figur 2.2 Det første meteogrammet som ble laget på basis av en HIRLAM50-prognose ved Meteorologisk institutt. Varsel av trykk, temperatur, nedbør og skydekke for Oslo, ut fra 13. juni 1995, 00 UTC. (Laget av Anstein Foss, kilde: Jan Erik Haugen)

Behovet for effektivt å kunne parallellisere modellkode var en av grunnene til å erstatte LAM50s med HIRLAM50.¹⁷⁶ Kvaliteten til HIRLAM-prognosene var ikke utslagsgivende for valget, siden de snarere opplevdes dårligere eller høyst like gode som dem produsert med NorLAM,¹⁷⁷ se figuren nedenfor som viser en subjektiv verifikasjon. Parallellversjonen av HIRLAM («PAR-LAM») ble utviklet ved Meteorologisk institutt og var klar i 1995.

Fra starten med HIRLAM50 i 1995 brukte instituttet samme dataassimilasjon for analyser som tidligere var benyttet med LAM50s. Beregningsområdet var større, og samme år ble det også startet opp en testversjon med 10 km maskevidde på et område som dekket fastlands-Norge.¹⁷⁸ I instituttets årsrapport for 1993 (s. 110–111) ble følgende formulert:

Resultatene viser at kvaliteten av den norske modellen er i middel like bra som eller bedre enn både EC og UK for det første døgnet, mens EC-modellen har best kvalitet for den siste del av 48-timers prognosen.

Dette stemmer godt overens med den subjektive indeksen i figuren. Dessverre finnes ikke tilsvarende formuleringer om modellprognosenes kvalitet 1995–1999.

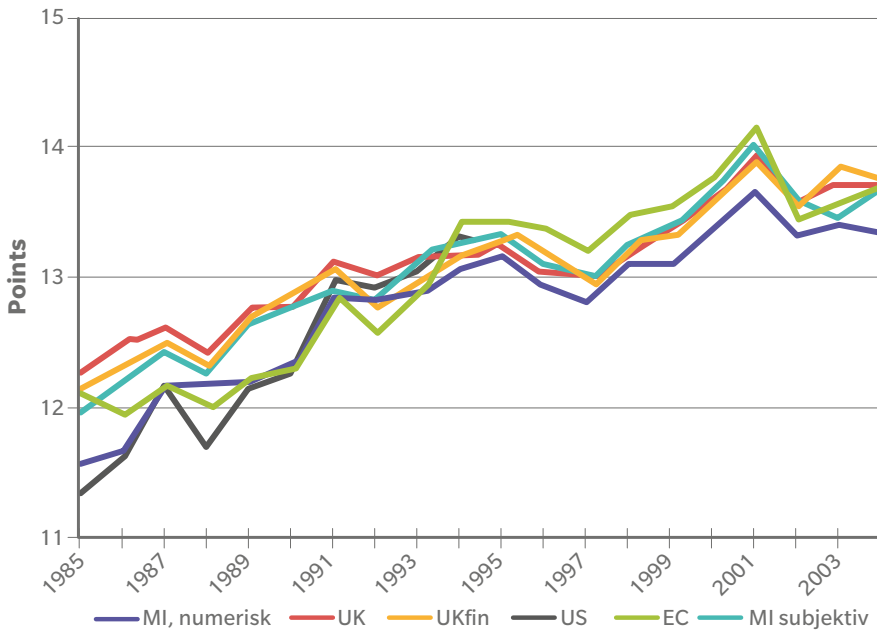
At HIRLAM50-prognosenes kvalitet gjennomgående var dårligere eller omtrent like gode, avhengig av hvilken værparameter som ble evaluert, som prognosene fra ECMWF gjennom flere år, var ikke tilfredsstillende. Både i HIRLAM-prosjektet og FoU-avdelingens seksjon for numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt ble det arbeidet med forbedringer. Som nevnt under avsnittene om HIRLAM 5 og 6 hadde instituttet både betydelig kompetanse på og ambisjoner om å utnytte flere typer avanserte fjernmålte data fra satellitt, særlig slike som kunne «se gjennom skyer» i mikrobølgedelen av det elektromagnetiske spekteret.¹⁷⁹ Testkjøringer med 3D-Var hadde alle-

176 Ole Vignes, personlig kommentar.

177 Det er funnet kun én analyse som underbygger dette, og det er den subjektive verifikasjonen med «JMA-indeks» som er beskrevet i et eget diagram.

178 Meteorologisk institutts årsrapport 1995, s. 100–101.

179 Schyberg, H., Landelius, T., Thorsteinsson, S., Tveter, F.T., Vignes, O. mfl., 2003. *Assimilation of ATOVS data in the HIRLAM 3D-Var system*. HIRLAM Technical Report No. 60, April 2003.



Figur 2.3 Kvalitetsindeks (JMA-index, utviklet av statsmeteorolog Jarl M. Andersen) for daglige værprognoser for 1,5 døgn gjennom 1985–2004. Numeriske prognoser fra: Meteorologisk institutt, LAM50s (mørk blå); UK MetOffice (rød og gul); fra USA fram til 1994 (svart); og fra ECMWF (grønn). Subjektive prognoser fra meteorolog på vakt (lys blå). Alle prognoser ble betydelig forbedret over 20 år. De siste årene da LAM50s ble kjørt (1991–1994/95) var instituttets numeriske prognoser blitt relativt gode, men etter at HIRLAM50 overtok, ble kvaliteten relativt dårligere. (Kilde: Mariken Homleid)

rede vært gjort over en toårs periode,¹⁸⁰ og i løpet av år 2000 ble 3D-Var kjørt operasjonelt med HIRHAM50.¹⁸¹

For instituttets del var begrensningen i tilgjengelig regnekraft lenge en hindring. Høsten 2001 ble CRAY T3E erstattet med en SGI Origin 3800 med mye større regnekraft. Dette åpnet for betydelige oppgraderinger som en

180 Vignes, O., 1999. *A parallel test of the HIRLAM 3D-Var data assimilation system and the operational DNMI system*, Research Report No. 90.

181 Meteorologisk institutts årsrapport, 2000, s. 109.

stund dels hadde vært testet ut eller ville bli utviklet i henhold til nye modellversjoner fra HIRLAM sentralt. Særlig viktig ble tilgangen til HIRLAM versjon 5.2¹⁸² som inneholdt en rekke mulige valg og forbedringer i beskrivelsen av fysiske prosesser, muligheter for å inkludere ytterligere observasjonsdata i variasjonsanalysen, og analyse av observasjonsdata for bakkeparametere.

I mars 2003 implementerte instituttet versjon 5.2 med 0,2 graders maskevidde og 40 lag i en HIRLAM20 operasjonelt, med 60-timers prognoser beregnet fire ganger per døgn. Systemet omfattet også en forbedret tilgang til data fra ECMWF ved beregningsområdets åpne render. Alt i alt førte dette til en betydelig forbedring av prognosenes kvalitet, og rapporten som inkluderte tester av kildene til kvalitetsforbedringer,¹⁸³ bruker følgende formuleringer i konklusjonene på side 12:

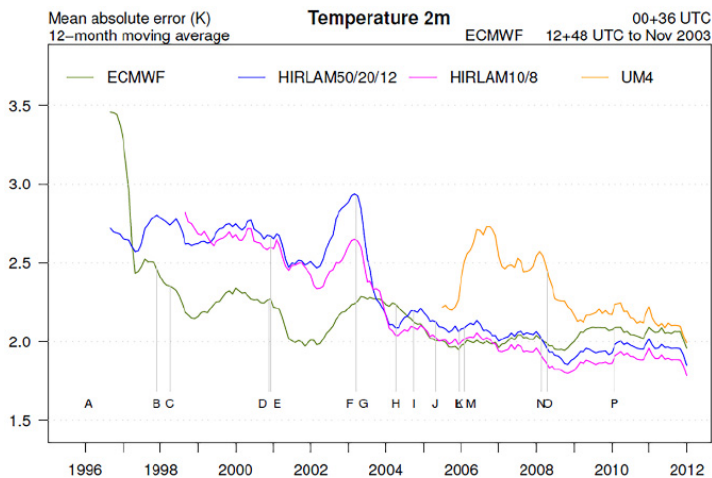
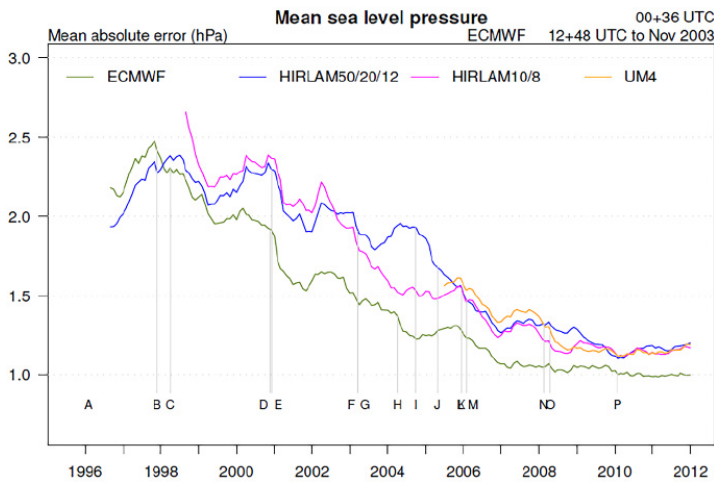
The verification results show that the new reference version is superior to the operational system at met.no. The improvement is significant for the 2m temperature but most important is the improvement in mslp and the forecasts on pressure surfaces. The new model version represents a better model for the synoptic scale. The horizontal resolution is increased to 0.2 degrees with retainance of the operational area. The improved quality due to increased resolution is smaller than the improvements due to change in model version.

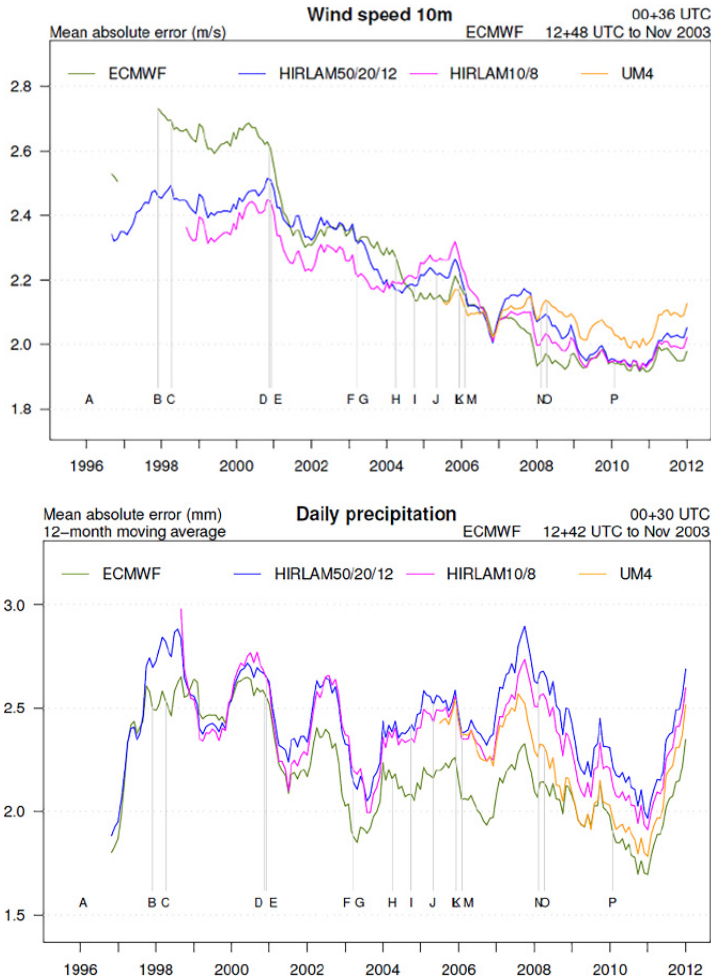
Instituttets operasjonelle HIRLAM-versjon har siden blitt oppgradert. Oppgraderinger har omfattet økt oppløsning, forbedret fysisk parameterisering, bedre analyser, og endringer i randdata. Fra instituttets årsrapport for 2011 vises kvalitetsforbedringene fra 1996 til 2012 i varslet bakkestrykk, temperatur og vindstyrke like over bakken samt døgnlige nedbørmengder for instituttets HIRLAM- og UM-prognoser for 36 timer sammenlignet med ECMWFs prognoser for 48 timer (36 timer fra 2003), som er samtidig tilgjengelig for værvarslere og brukere. UM beskrives i neste avsnitt.

182 Undén mfl., 2002. *The HIRLAM 5 Scientific Documentation*. 144 sider. SMHI, Norrköping, Sverige.

183 Bjørge, D., Haugen, J.E., Homleid, M., Vignes, O.N. & Ødegaard, V., 2003. *Updating the HIRLAM numerical weather prediction system at met.no 2000–2002*, Research Report No. 145, kan lastes ned fra: <https://www.met.no/publikasjoner/met-report/met-report-2003>

Bakketrykket er en storskala variabel som den globale ECMWF-modellen beregner konsistent bedre enn de regionale modellene. Lignende resultater gjaldt tilsynelatende også for døgnlign akkumulert nedbør, men det kan skyldes såkalt «dobbel belastning» som en modell med dårlig oppløsning tjener på. For temperatur og vindstyrke var HIRLAM like god eller litt bedre enn ECMWF siden 2004, mens UM4 var konsistent dårligere for temperatur og vind, men sammenlignbar med ECMWF for døgnakkumulert nedbør. Det er også verdt å merke seg at kvaliteten ble langsiktig forbedret, men at denne trenden i større grad ble maskert av store variasjoner fra år til år for nedbør.





Figur 2.4 Midlere absolutt feil i fire beregnede variabler ett og et halvt døgn fram i tid fra instituttets operasjonelle versjoner av HIRLAM fra 1996 til 2012 og UM fra 2004 til 2012, sammenlignet med tilsvarende feil for ECMWFs todøgns prognoser som gjelder for samme tidspunkt. 12 måneders glidende gjennomsnitt. Bokstavene angir tidspunkt for endringer i de operasjonelle modellsystemene. For HIRLAM ses tydelige forbedringer sammenlignet med ECMWF ved: E (3D-Var startet 2003); F (oppgradert med 20 km maskevidde i 2005); H (randdata fra ECMWF endret fra 150 km til 50 km maskevidde), J (daglig oppdatert havoverflatetemperatur i 2005), N (maskevidde redusert fra 20 og 10 km til 12 og 8 km i 2008), O (UM4 operasjonell med forbedret fysikk i 2008, se eget avsnitt om UM).

(Kilde: Instituttets årsrapport, 2011, s. 7–10)

Det bør nevnes at på tross av at det har vist seg vanskelig for en enkeltprognose med HIRLAM å tydelig verifisere bedre enn enkeltprognoser fra ECMWF, har sannsynlighetsvarsler gjennom ensembler verifisert betraktelig bedre enn de operasjonelle ensemblene fra ECMWF. Dette skyldes i hovedsak måten ensemblene er generert på, og for det pan-europeiske GLAMEPS var det bruken av flere ulike modeller og modellversjoner som bidro mest til forbedring.¹⁸⁴

Samarbeid med UK MetOffice om bruk av Unified Model (UM). I HIRLAMs fase 5 og 6 var det et økende fokus på ikke-hydrostatisk, mesoskala modellering, etter hvert som man så for seg behov for stadig finere maskevidde som eksplisitt beregner kraftige byger istedenfor gjennom parameterisering. Det ble også laget en noe forenklet ikke-hydrostatisk versjon av HIRLAM,¹⁸⁵ som forskningsavdelingen ved Meteorologisk institutt også eksperimenterte med. Denne modellutviklingen ble imidlertid ikke videreført i HIRLAMs neste faser. I stedet ble samarbeidet med ALADIN-prosjektet med Météo-France i ledelsen forløsende for en slik utvikling.

I mellomtiden opprettet Meteorologisk institutt et samarbeid med UK MetOffice sommeren 2002,¹⁸⁶ og fikk på den måten rett til å anvende deres ikke-hydrostatiske modell som på instituttet ble omtalt som UM-modellen. Dag Bjørge ble hovedansvarlig for implementeringen av UM, som ble satt opp med 4 km oppløsning, UM4, for et område som dekket hele fastlands-Norge, men uten dataassimilasjon. Eksperimentell produksjon ble startet i juli 2003 med dynamisk nedskalering av HIRLAM10-prognoser to ganger per døgn.¹⁸⁷

I 2005 ble beregningsområdet for UM utvidet til å dekke hele Skandinavia,¹⁸⁸ og i instituttets årsrapport fra 2006 (s. 15) fortelles det at samarbeidsavtalen med UK MetOffice ble fornyet. Der ble det også rapportert at vindprognosene hadde kvalitet som var tilfredsstillende for operasjonell bruk, men at det var et problem som måtte løses med for lave temperaturer over snødekte flater. I 2008 ble det rapportert at disse problemene så ut til

184 Iversen, T., Deckmyn, A., Santos, C., Sattler, K., Bremnes, J.B., Feddersen, H. & Frogner, I.-L., 2011. Evaluation of 'GLAMEPS' – A proposed multimodel EPS for short range forecasting. *Tellus*, 63A, 513–530, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2010.00507.x>

185 Anelastisk tilnærming som filtrerer lydbølger.

186 Meteorologisk institutts årsrapport, 2002.

187 Meteorologisk institutts årsrapport, 2003 og 2004.

188 Meteorologisk institutts årsrapport, 2005.

å være løst, og full operasjonell drift ble satt i gang i mars 2008. Det ble rapportert at UM4-prognosene var klart bedre enn de tilgjengelige HIRLAM-prognosene, som på det tidspunktet var HIRLAM12 og HIRLAM8 med 60 lag.¹⁸⁹

Operasjonelt samarbeid i Norden basert på HARMONIE: MetCoOp. I august 2011 inngikk Meteorologisk institutt og SMHI en avtale¹⁹⁰ om operasjonelt samarbeid om produksjon av mesoskala NWP-prognoser, Meteorological co-operation on operational Numerical Weather Prediction (MetCoOp). Ved å alternere ansvar for anskaffelse av maskinvare, kunne denne oppdateres så ofte som hvert andre år. Modellsystemene kunne også moderniseres betraktelig oftere og være basert på det vel etablerte samarbeidet i HIRLAM-programmet, dvs. HARMONIE. Den 1. januar 2017 ble også det finske meteorologiske institutt (FMI) fullt medlem av MetCoOp.

Perioden fram til februar 2014 var en pre-operasjonell fase med planlegging og teknisk utvikling. Den ikke-hydrostatiske AROME-modellen, opprinnelig utviklet ved Météo-France og sentral i HARMONIE-samarbeidet (og nå ACCORD), utgjorde modellsystemet sammen med variasjonsanalyse (3D-Var) med avanserte fjernmålte data og analyser basert på optimal statistisk interpolasjon (CANARI¹⁹¹) for tilstanden ved bakkens overflate. Systemet AROME-MetCoOp, med 2,5 km maskevidde, 65 nivåer opp til ca. 33 km og 66 timers prognoser produsert hver tredje time, ble lansert i operasjonell drift fra medio mars 2014. Systemet benytter prognoser fra ECMWF langs de åpne rendene til beregningsområdet, omfatter produksjonsovervåkning med reserveløsninger for stabil produksjon, prognosedata i format etter internasjonal standard (netCDF) og opplegg for kontinuerlig evaluering av prognosenes kvalitet. Drøfting av systemets egenskaper ble i 2017 publisert vitenskapelig i *Weather and Forecasting*.¹⁹² Beregningsområdet ble utvidet østover da FMI ble med i 2017.

189 Meteorologisk institutts årsrapport, 2008 (s. 13).

190 Signert av direktørene ved SMHI (Lena Häll Eriksson) og Meteorologisk institutt (Anton Eliassen) datert 20. september 2011.

191 Code d'Analyse Nécessaire à ARPEGE pour ses Rejets et son Initialization (CANARI; Taillefer, F., 2002. CANARI: Technical documentation. CNRM/ GMAP Internal Rep., Météo-France, 55 s.)

192 Müller, M., Homleid, M., Ivarsson, K., Køltzow, M.A.Ø., Lindskog, M., Midtbø, K.H., Andrae, U., Aspelien, T., Berggren, L., Bjørge, D., Dahlgren, P., Kristiansen, J., Randriamampianina, R., Ridal, M. & Vignes, O., 2017. AROME-MetCoOp: A Nordic Convective-Scale Operational Weather Prediction Model, *Weather and Forecasting*, 32(2), 609–627. Retrieved Dec 31, 2022, from https://journals.ametsoc.org/view/journals/wefo/32/2/waf-d-16-0099_1.xml

Ved Meteorologisk institutt hadde det da allerede vært et lignende system (AROME-Norway) i drift siden 2. oktober 2013 med fire prognoser per døgn, egne analyser av bakkeoverflatens tilstand, men uten eget system for dataassimilasjon i atmosfæren. Fra den datoen hadde instituttet stoppet tidligere operasjonelle rutiner, inklusive vakthavende meteorologs manuelle editering av de numeriske prognosene, basert på HIRLAM og UM.¹⁹³

Meteorologisk institutt har et spesielt ansvar for værvarsling for deler av Arktis, og dette ansvaret dekkes ikke av AROME-MetCoOp. Siden 15. november 2015 har derfor instituttet kjørt egen operasjonell produksjon av numeriske værprognoser for et utsnitt av Arktis, AROME-Arctic.¹⁹⁴ Bortsett fra områdets størrelse og geografiske plassering er systemet tilsvarende konfigurert som for MetCoOp. De geofysiske forholdene i Arktis byr imidlertid på andre typer faglige utfordringer enn over Skandinavia, slik som store årstidsvariasjoner for solstråling og varmestråling, transport av varme og fuktighet fra og til en havoverflate med store variasjoner i temperatur og isdekning, samt betydning av varierende snødekke. I regionen forekommer også spesielt farlige værforhold, slik som polare lavtrykk og ekstreme kaldfronter. Modellsystemet var en viktig komponent i det nylig avsluttede «Year of Polar Predictions»¹⁹⁵ (YOPP).¹⁹⁶

MEPS: operasjonell varsling av sannsynligheter for værhendelser. Fra 8. november 2016 har det vært kjørt et system for sannsynlighetsprognoser: MetCoOp Ensemble Prediction System (MEPS), hovedsakelig basert på samme modelloppsett som AROME MetCoOp.¹⁹⁷ For AROME-Arctic er et lignende EPS under utvikling (2022).

Et system for EPS skal beregne konsekvenser av usikkerheter i atmosfærens starttilstand, i data som importeres inn i beregningene gjennom rendene og ved bakken, og av usikkerheter i modellens representasjon av fysiske

193 Informasjon fra Jørn Kristiansen og Morten Ø. Køltzow.

194 Müller, M., Y. Batrak, J. Kristiansen, M.A. Køltzow, G. Noer & A. Korosov, 2017. Characteristics of a Convective-Scale Weather Forecasting System for the European Arctic. *Mon. Wea. Rev.*, 145, 4771–4787, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0194.1>

195 <https://www.polarprediction.net/>

196 Køltzow, M., Casati, B., Bazile, E., Haiden, T. & Valkonen, T., 2019. A NWP model inter-comparison of surface weather parameters in the European Arctic during the Year of Polar Prediction Special Observing Period Northern Hemisphere 1. *Weather and Forecasting*. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0003.1>

197 Ulf Andrae, SMHI mfl., 2017. The MetCoOp ensemble MEPS. *Aladin-Hirlam Newsletter no. 8*, s. 98–103.

prosesser. Kontrollprognosen fram til 66 timer beregnes hver tredje time ut fra det som antas å være det beste estimatet av utgangstilstanden. Den første versjon av MEPS konstruerte ni alternative varslere (ensemblemedlemmer) fram til 48 timer ut fra at det ved hvert tidspunkt er flere kontrollprognoser tilgjengelig fra ulike starttidspunkt. For eksempel er det klokka 18.00 tilgjengelig én 12 timers prognose fra kl. 06.00, én 15 timers prognose fra kl. 03.00, én 18 timers prognose fra kl. 00.00, osv. Det er da tre timers lag (forskyvning) mellom de prognosene som gjelder for samme klokkeslett. Siden forskjellen mellom to prognoser øker med forskjellen i deres alder, skaleres forskjellen mellom prognosene av ulik lengde slik at de blir tilnærmet like forskjellige. Denne måten å generere alternative prognoser kalles Scaled Lagged Averaged Forecasting (SLAF).

MEPS konstruerte ni alternative prognoser fram til 48 timer ved hjelp av SLAF i atmosfæren samt at hver alternative prognose startet ut fra sitt eget estimat av bakkens tilstand fra analyseskjemaet for bakkens overflate. Ved de åpne rendene ble perturbasjonene generert ved å anvende SLAF-teknikken på dataene fra ECMWFs prognoser.

Dette lille antallet ensemblemedlemmer i MEPS viste seg å produsere bedre produkter for sannsynlighetsvarsler enn det operasjonelle, pan-europeiske GLAMEPS med 44 medlemmer som da gikk operasjonelt i HIRLAM. Den høye geografiske oppløsningen i MEPS var utslagsgivende, og det var innlysende at det ville være riktig og viktig å videreføre satsingen på høy-oppløselig EPS for de første par døgn. Rammeverket for dette var HarmonEPS i HIRLAM.¹⁹⁸

198 Frogner, I.-L., Andrae, U., Bojarova, J., Collado, A., Escriba, P., Feddersen, H., Hally, A., Kauhanen, J., Randriamampianina, R., Singleton, A., Smet, G., van der Veen, S. & Vignes, O., 2019. HarmonEPS – The HARMONIE Ensemble Prediction System. *Weather and Forecasting*, 34, p. 1909–1937. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0030.1>



Figur 2.5 Dagens beregningsområde for MEPS

Da FMI ble medlem av MetCoOp, ble beregningsområdet utvidet til det som vises på kartet. MEPS er oppgradert siden den første versjonen, blant annet ved at tre ulike datamaskiner er involvert. Nyere versjoner av AROME er tatt i bruk, og flere dataassimilasjoner kjøres i parallell. Måten ensemblemedlemmer genereres på, er endret på en innovativ måte for å utnytte tilgjengelig kapasitet på datamaskinene bedre. Optimaliseringen oppnås ved at få nye ensemblemedlemmer genereres ofte (hver time) istedenfor at alle ensemblemedlemmer genereres hver 6. time og samtidig.

Siden februar 2020 genereres fem nye ensemblemedlemmer av lengde 66 timer hver time. Dermed kan det for hvert tidspunkt settes sammen et varierende antall alternative varsler ved tidsforskyving (lagging). Uperturberte kontrollprognoser genereres hver tredje time, åtte ganger per døgn. For eksempel kan man da hver tredje time generere 30+2 medlemmer av lengde 61 timer ved å bruke 30 perturberte prognoser og to kontrollprognoser fra de siste seks tidspunktene. Usikkerheten i modellens fysikk bidrar nå også til spredningen i ensemblet.¹⁹⁹

¹⁹⁹ Andrae, U., Frogner, I-L., Vignes, O., Singleton, A., Azad, R., Partio, M. & Sokka, N., 2020. A continuous EDA based ensemble in MetCoOp, *ALADIN-HIRLAM Newsletter Nr. 14*, 189–198.

2.8 Tanker om samfunnsnytten av numerisk værvarsling

I denne artikkelen har vi resymert og diskutert utviklingen av numerisk værvarsling (NWP) fra dens spede begynnelse fram til de siste ti årene. Hovedfokus har vært på bidrag fra norske forskere og utviklere til NWP generelt, og på hva Meteorologisk institutt selv har produsert av NWP delvis med assistanse fra akademia. Det er den potensielle nytten for samfunn og enkeltmennesker, i form av vern av liv og verdier, som er formålet med numerisk værvarsling. Uten et slikt formål i sikte som gradvis gjennom flere tiår har blitt stadig bedre oppfylt, hadde vi ikke hatt denne historien.

Begrensningene som forskere og utviklere over nesten tre generasjoner har vært nødt til å arbeide for å utvide, har grovt sagt vært bestemt av: (1) vitenskapelig forståelse av relevante geofysiske prosesser, (2) innovative matematiske ferdigheter, (3) teknologi for digital operasjonalisering, (4) observasjoner og deres tolkning, (5) bevilgninger, og (6) tilgang på og utvikling av forskertalenter. Disse seks punktene er ikke uavhengige av hverandre.

Det var først ved starten av det 20. århundre da Vilhelm Bjerknes knyttet teoretisk fluiddynamikk og termodynamikk sammen, at værvarsling *i prinsippet* kunne betraktes som en utfordring som kunne defineres innen klassisk naturvitenskapelig teori. I tillegg var han med på å utvikle teorien bak elektromagnetiske bølger som la grunnlaget for trådløs telegrafi og som gjorde det mulig å raskt distribuere nye meteorologiske observasjoner i sann tid.

Den *praktiske* løsningen av værvarslingsproblemet var imidlertid ikke like om hjørnet, og forsøket til Richardson i 1920-årene feilet ikke på grunn av dårlige regneferdigheter, men av manglende forståelse av fysikken. Det var Vilhelm Bjerknes' elever og hans elevers elever som under og etter andre verdenskrig utviklet en forståelse av fysikken som gjorde det mulig å gjøre de første vellykkede numeriske prognosene. Men disse prognosene tok lang tid å beregne på datidens regnemaskiner, og de var svært langt fra noe som hadde med opplevd vær å gjøre.

Tiårene etter det såkalte gjennombruddet for NWP kan karakteriseres som en langsom evolusjon der alle de seks ovennevnte punktene var ingredienser. Regnekraften økte langsomt, det samme gjorde tilgangen på observasjoner og deres tredimensjonale tolkning, og med dette økte forståelsen av fysikken og matematikken langsomt. Direktører med ansvar for å redde liv

og verdier måtte «ha is i magan» om de skulle tørre å satse stort på NWP som grunnlag for værvarsling. Andre metoder var ofte mer fristende, og dette påvirket også bevilgninger og tilgang på relevante forskertalenter.

Først utover på 1970-tallet kom det storstilte, og vågale, satsinger som vitnet om en vesentlig forventning om at NWP kunne bli virkelig samfunnsnyttig ut over akademisk teori. Det var selvsagt mange forskere som trodde på den mulige nytten av NWP før dette, men det var få muligheter til å demonstrere det i praksis. Med ECMWF ble dette mulig etter ganske kort tid. Fra 1990 og utover fikk man avanserte systemer for å utnytte fjernmålte observasjoner fra satellitt og andre teknologier, praktisk beregning av forutsigbarhetens begrensninger og muligheter, og representasjon av fysiske prosesser i modellene, og det ble mulig å beregne opplevd vær direkte.

Norge kom av uforståelige grunner ikke med i ECMWF før i 1989, men forskere ved Meteorologisk institutt og Institutt for geofysikk UiO, og noe senere Geofysisk institutt UiB, gjorde en beundringsverdig innsats da NORLAM ble utviklet. Selv om HIRLAM-modellenes prognoser de første 10–15 år ikke hadde samme kvalitet, var det imidlertid strategisk riktig å gå over til HIRLAM som operasjonell modell i 1995. Å høste av formelle, og ikke minst uformelle, samarbeid er uvurderlig for et lite land som Norge. Innen HIRLAM – HARMONIE – ACCORD utvikles og bidrar norsk kompetanse, og sammen med andre lands kompetanse har man fått på plass systemer som beregner verdens beste numeriske værprognoser for Norge over 2–3 døgn.

Og det er all grunn til å hevde at dette vil fortsette de neste tiårene. Ytterligere modellforbedringer, høyere oppløsning, flere observasjonssystemer og bedre sannsynlighetsprognoser for potensielt farlig vær vil utvikles i samarbeid mellom norsk og andre lands sterke kompetanse. Utvidelsen i 2022 av MetCoOp til å inkludere Estland, Latvia og Litauen i et østlig UWC (United Weather Centre) og dannelsen av et tilsvarende vestlig mellom Nederland, Danmark, Irland og Island vitner om MetCoOps suksess.

Medlemskapet i ECMWF sikrer en tilsvarende situasjon for værvarsling ut over de første døgn og for måneder, sesonger og kanskje år. Imidlertid ser vi ennå noe som kan tolkes som et tydelig etterslep av at Norge kom altfor sent med i samarbeidet. Det er få norske forskere og utviklere som søker og får stilling ved ECMWF. Det er også en ny usikkerhet ved at ECMWF er blitt splittet opp i tre sentre, ikke minst som en konsekvens av brexit. I tillegg til hovedsenteret i Reading i England er det opprettet et senter for tungregning

i Bologna i Italia og Copernicus-aktiviteten er lokalisert i Bonn i Tyskland. Mange vil hevde at en suksessfaktor for ECMWF har vært samlokalisering av dedikerte fagfolk med ett viktig felles mål. Å publisere artikler i vitenskapelige tidsskrifter (som *er viktig*) har nesten vært underordnet tilfredsstillelsen av å bidra til nye gjennombrudd i de operasjonelle prognosene. Det er et tankekors at mens utviklingen av europeisk NWP for korttidsprognoser går mot økt konsentrasjon av menneskelige og teknologiske ressurser, går ECMWF tilsynelatende motsatt vei. Dette er imidlertid ennå helt nytt, og tiden vil sannsynligvis vise at det går godt.

Samfunnsrelevansen til NWP er nå udiskutabel. Uten åpen tilgang til alle de data som NWP-prognoser genererer som et økonomisk felles gode finansiert av det offentlige, vil samfunnets evne til å planlegge kostbare investeringer og forebygge konsekvenser av farlig vær, være mye dårligere. Dette er ikke minst viktig når konsekvensene av menneskeskapte klimaendringer blir tydeligere og tydeligere. De vil bare øke de neste år og tiår. Gode, pålitelige værvarsler er en viktig del av en nødvendig tilpasning til klimaendringene.

Det har tatt drøyt et hundreår fra Vilhelm Bjerknes' erkjennelse av at værvarsling er et initialverdiproblem i klassisk fysikk, til vi nå varsler været uten subjektive vurderinger fra en meteorolog på vakt. Dette er resultat av at menneskene faktisk kan samarbeide frivillig, konstruktivt og langsiktig for å oppnå noe alle har nytte av, og nordmenn har bidratt vesentlig til denne viktige historien. Den tankevekkende ingressen til Nature-artikkelen *The quiet revolution of numerical weather prediction* av Bauer, Thorpe og Brunet²⁰⁰, oppsummerer denne viktige historien:

Advances in numerical weather prediction represent a quiet revolution because they have resulted from a steady accumulation of scientific knowledge and technological advances over many years that, with only a few exceptions, have not been associated with the aura of fundamental physics breakthroughs. Nonetheless, the impact of numerical weather prediction is among the greatest of any area of physical science. As a computational problem, global weather prediction is comparable to the simulation of the human brain and of the evolution of the early Universe, and it is performed every day at major operational centres across the world.

200 www.nature.com/doi/10.1038/nature14956

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».¹ 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»² 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.³ 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» 1899:⁴ «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 1966.⁵ 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». ⁶ 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». ⁷

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.⁸

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.⁹ Utvalget publiserte en kort rapport i 1983 der muligheten for global oppvarming ble viet oppmerksomhet¹⁰ 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».¹¹ 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 instituttsjef 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.¹² 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»,¹³ 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 Grammeltvedt, 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 CO₂-innhold, basert på resultatene fra den koblede NCAR-modellen som lot atmosfære og hav strømme fritt, beskrevet av Washington og Meehl, 1989.¹⁴ 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 CO₂: 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.¹⁵ En mer omfattende rapport til den interdepartementale klimautredningen ble publisert i april 1990¹⁶ 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».¹⁷ 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.¹⁸

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, CO₂-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 1996¹⁹ skrev:

Regionale klimamodeller: Ved prioritering av den nasjonale klimaforskningen sier Klima- og NOx-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 2002.²⁰ 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. Intellectuelle, 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*,²¹ *Vær og Klima* og *KLIMA*.²²

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).

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.²³ «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.²⁴

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 klimarapportserie²⁵ 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-værstasjoner²⁶ 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».²⁷ 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 døggnedbør, 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»,²⁸ 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»-observasjoner²⁹ 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 metadata³⁰ ble utviklet i et samarbeid med nordiske og europeiske meteorologiske institutter.³¹ 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.³²

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 bømte 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 cm², 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 kraftverkernes 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.³³

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.³⁴ 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.³⁵ 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,³⁶ 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.

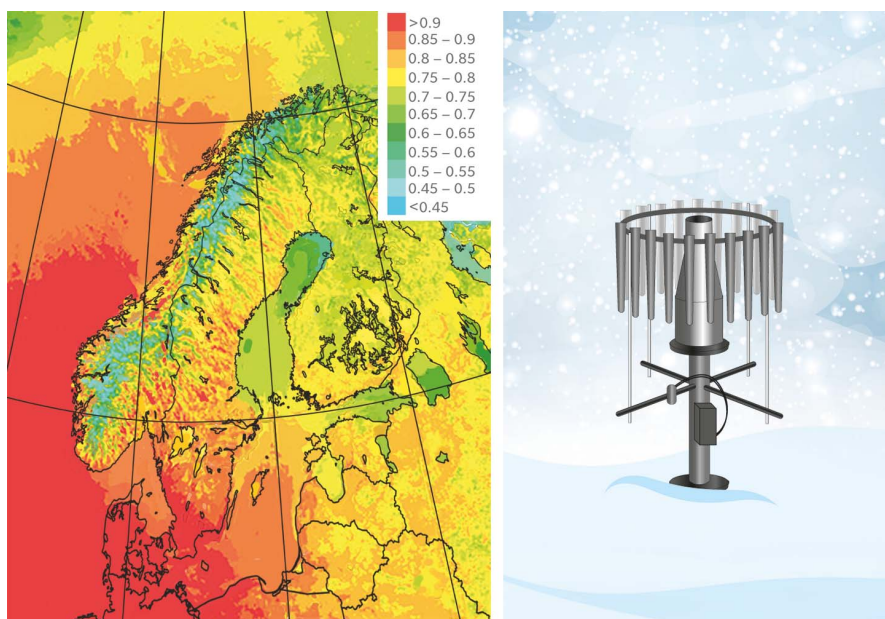
36 Klima 04/1981.

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.³⁷ 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.^{38, 39} 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.⁴⁰ (Figur til høyre) Single Alter Geonor nedbørmåler med Single Alter skjerm.⁴¹

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 Instituttet bearbejdes til Nytt for Videnskaben og det praktiske Liv samt til regelmæssige Tider offentliggjøres». ⁴² 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». ⁴³ 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 nøjaktigste forhaandenværende Metoder og for saa mange Stationer som mulig». ⁴⁴ 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 1895.⁴⁵ 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.⁴⁶ 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»⁴⁷ 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».⁴⁸

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 referansestasjonene ble normalverdier og annen statistikk beregnet «by means of our electronic computer». ⁴⁹ For de øvrige stasjonene ble statistikken beregnet manuelt. Denne omfattende statistikken over lufttemperatur i Norge 1931–1960 er publisert av Inger Bruun. ⁵⁰ Der gis det også oversikt over tilgjengelige målestasjoner og metodikk benyttet til beregningene. Bruun og Haaland ⁵¹ publiserte middelveidier for antall dager per år med ulike værforhold. Det ble beregnet forekomst av 20 værparametere for temperatur, nedbør, snødekke, vindstyrke, skydekke og tåke. Tabellene inneholder bl.a. antall dager med minimumstemperatur under -10°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 måleserier måtte kombineres før normalverdiene kunne beregnes. Normalverdiene for temperatur og nedbør 1961–1990 er publisert i Meteorologisk institutts klimarapporter 02/93 (temperatur) og 39/93 (nedbør). I disse rapportene er det også beskrevet hvilken metodikk som ble benyttet til beregning 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 Meteorologisk institutt store, detaljerte kart over Norges topografi samt transparente 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 stasjonsverdier, 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.⁵² Til dette kartverket ble det også laget et populærvitenskapelig hefte⁵³ 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

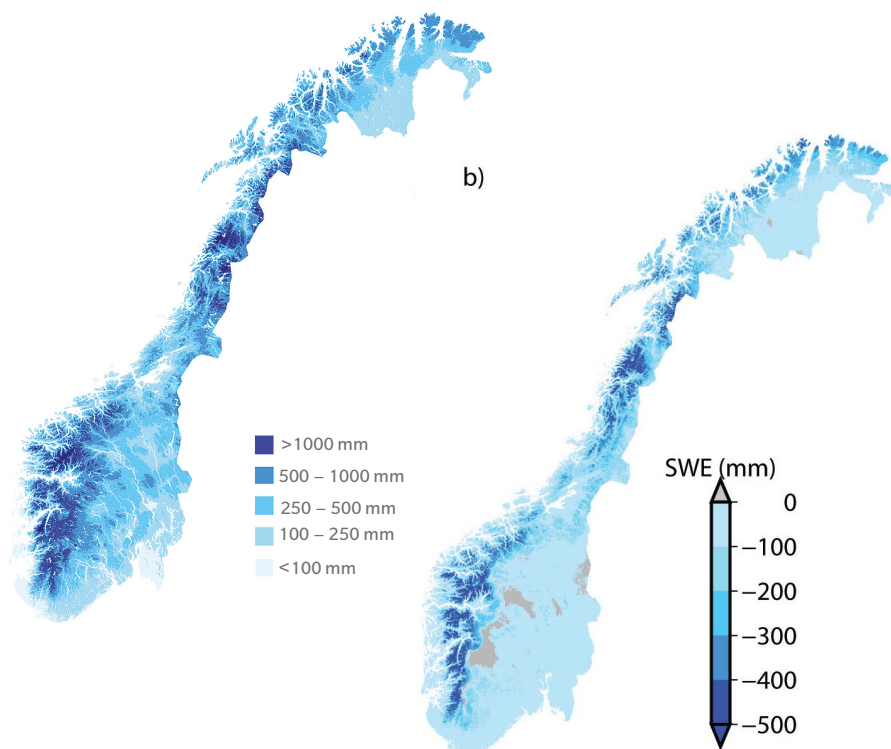
Fra 1951 fremstilte Meteorologisk institutt kart for 400, 800 og 1200 moh. over startdatoen for snøakkumuleringssesongen og over snøakkumulering i prosent av normalverdier. Kartene for startdato for snøakkumuleringssesongen viste et mål for når varig snølegging hvert år startet i ulike deler av landet. 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).⁵⁴ 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. Kart over dagens forhold og projeksjoner for fremtidens midlere snømagasin uttrykt som «snøvannsekvivalent», er presentert i «Klima i Norge 2100»-rapportene,⁵⁵ 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).⁵⁶

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).

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. Snølaste 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.⁵⁷ 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

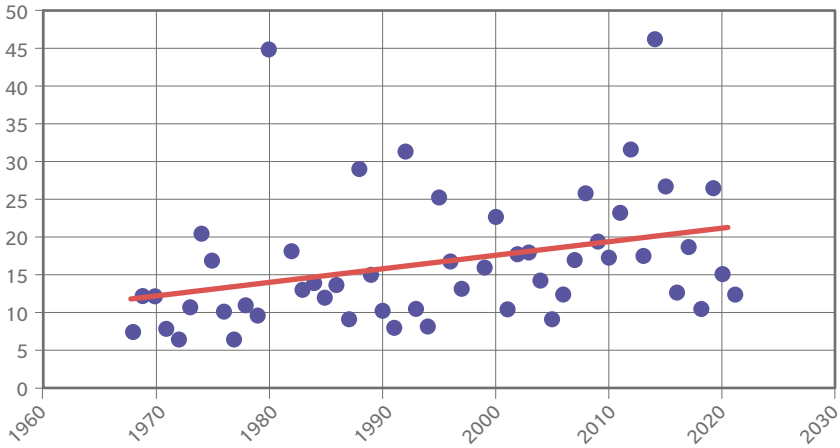
100 rapporter om påregnelige ekstreme nedbørverdier i ulike vassdrag. For å vurdere mulighet for overtopping av demningen ble det utført en analyse av nedbør og vindforhold ved høye vannstander i Aursjøen (Meteorologisk institutts klimarapport 23/93).

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. I «Prosjekt rensing av avløpsvann»⁵⁸ 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 1923,⁵⁹ 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 informasjons-systemsverktøy (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 værvarselet 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 samarbeid⁶⁰ 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.⁶¹ Arbeidsgruppen lagde også forslag til metodikk for beregning av arealnedbør.⁶²

I 1986 satte WMO i gang et samarbeidsprosjekt om «Solid Precipitation Measurement Intercomparison».⁶³ 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 målertyper.⁶⁴ 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.⁶⁵

-
- 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),⁶⁶ 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 tilgjengelig⁶⁷ 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 2011.⁶⁸ I de senere år har NFCS-samarbeidet vært konsentrert om klimatjenester, nye klimanormaler (1991–2020) og om ekstrem nedbør.⁶⁹

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». ⁷⁰ 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. ⁷¹

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. Miletà, 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.⁷² Direktør Theodor Hesselberg (Meteorologisk institutts direktør 1915–1955) var president i IMO i perioden 1935–1951.⁷³ 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 Bruun⁷⁴ 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 brotet oppgjeve.

Homogenitetsproblemet gjorde seg meir eller mindre gjeldande i alle land, slik at internasjonalt samarbeid var svært naturleg, og ikkje minst etterlengta 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 stasjonsnettvar var homogenisert. Metoden vart fyrst publisert og prøvd på nedbør i Sørvest-Sverige,⁷⁵ men kunne også brukast på andre vêrelement. For Noreg vart metoden brukt for nedbør⁷⁶ og temperatur.⁷⁷

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.⁷⁸

Det internasjonale samarbeidet manifesterte seg også som eit europeisk samarbeid i regi av COST⁷⁹ (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 metode⁸⁰ (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 skogsgrense.

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 breforskarer 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 1997⁸¹ 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 samanheng 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 baa 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.

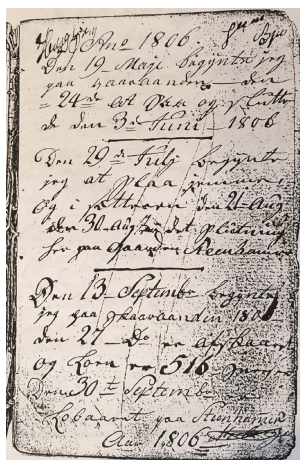
Mange ulike prokxy vart prøvd. Frå gardsdagbøker (eller bondedagbøker) vart temperaturen om våren jamført med starten på våronna, vår/sommartemperaturen vart jamført med starten av kornskurden (startdato for skjering av kornet) og dato for isløysing på vatn vart jamført med temperaturen på ettervinteren/våren. Av desse vart isløysinga⁸² 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.⁸³



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).⁸⁴ 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,⁸⁵ 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,⁸⁶ 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.⁸⁷ 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.⁸⁸

Birkeland fylgde opp arbeidet med dei lange datarekkjene ved å levere inn eit nytt manuskript i august 1933,⁸⁹ 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.⁹⁰ 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.⁹¹ Døgnmimumet 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.⁹²

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 månads-middeltemperatur 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.⁹³

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.⁹⁴

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.

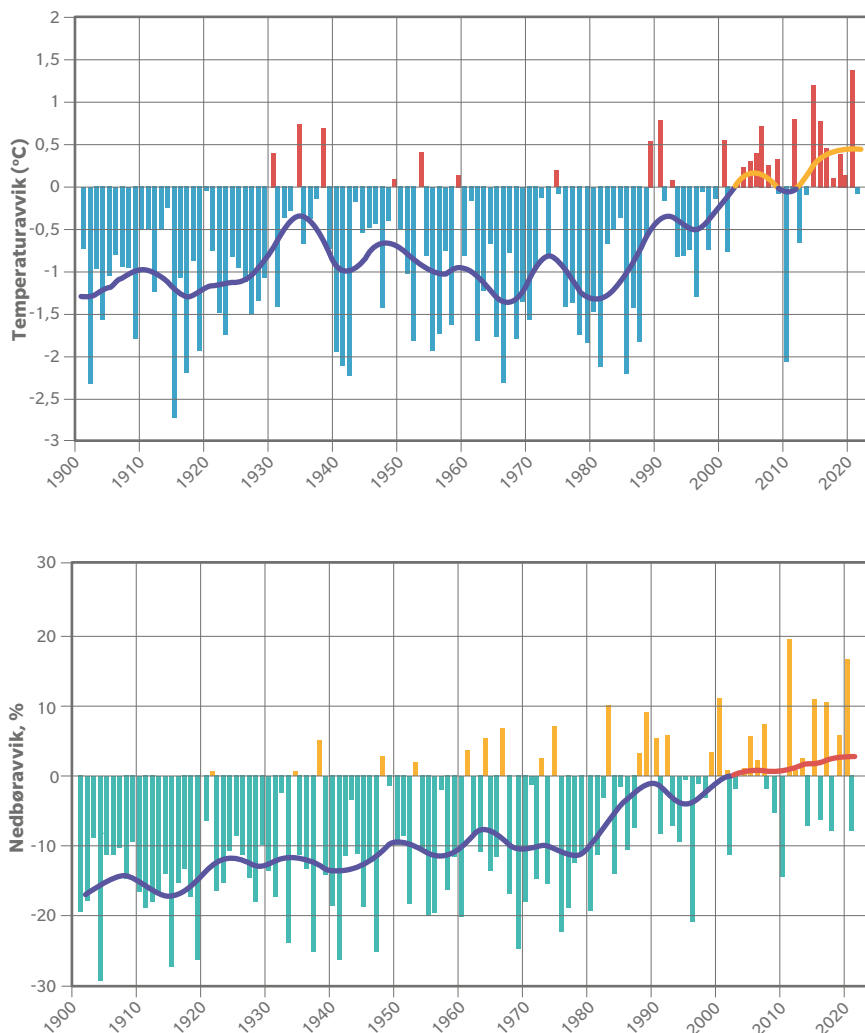
Om lag 90 år etter at Birkeland arbeidde med Oslo-serien, vart serien homogenisert på nytt med moderne metodar.⁹⁵ Målingane frå Astronomisk Observatorium fekk no ein større plass på kostnad av dei frå Meteorologisk institutt på grunn av den unike stabiliteten i målingane gjennom nesten 100 år på observatoriet. 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.⁹⁶ 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.⁹⁷ 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*,⁹⁸ 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 Schou⁹⁹ 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.¹⁰⁰ 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».¹⁰¹

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 1901–1930.¹⁰² 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.¹⁰³ 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 1994.¹⁰⁴ 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.¹⁰⁵ 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.¹⁰⁶ 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.¹⁰⁷

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



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,¹⁰⁸ og både de allierte og tyskerne opprettet værobservasjoner og ødela motstanderens.¹⁰⁹ 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.¹¹⁰ 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.¹¹¹ 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.¹¹² 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 1998,¹¹³ 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.¹¹⁴ Han gjorde også den første systematiske analysen av temperaturdata fra stasjonen ved Finneset-Green Harbour for perioden 1912–1926,¹¹⁵ 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.¹¹⁶ Theodor Hesselberg, Meteorologisk institutts direktør 1915–1955, bidro sammen med Birkeland til en stor systematisk analyse av klimaendringer i Norge.¹¹⁷ 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.¹¹⁸ 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 1980.¹¹⁹

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.

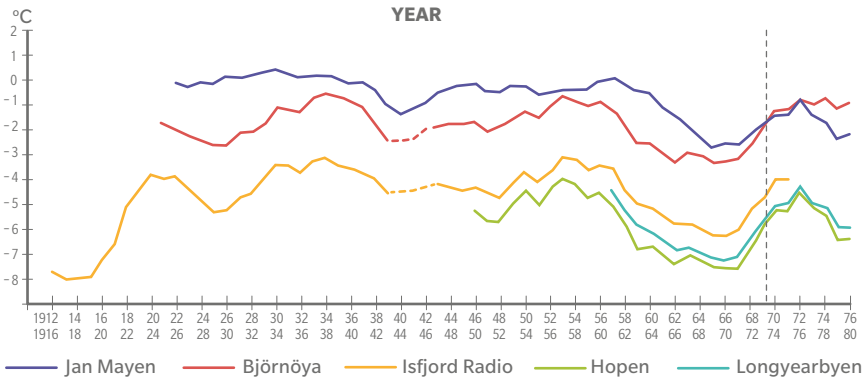
116 Hesselberg, T. (1945). Klimavariasjoner i Norge i vår tid. *Naturen*, 69(1), 17–27, <https://marcus.uib.no/instance/issue/ubb-tskr-naturen-1945-01.html>

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.¹²⁰ 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.¹²¹

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*.¹²² 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.¹²³

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.¹²⁴ 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)¹²⁵ 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 Polarinstitut, 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.¹²⁶ ACIA-rapporten ble utarbeidet som svar på en forespørsel fra ministrene i Arktisk råd i 2000 formulert i «Barrowerklæringen»¹²⁷ 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 Polarinstitut og Statens forurensningstilsyn. For-

124 Nordli, Ø., Wyszynski, P., Gjelten, 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>

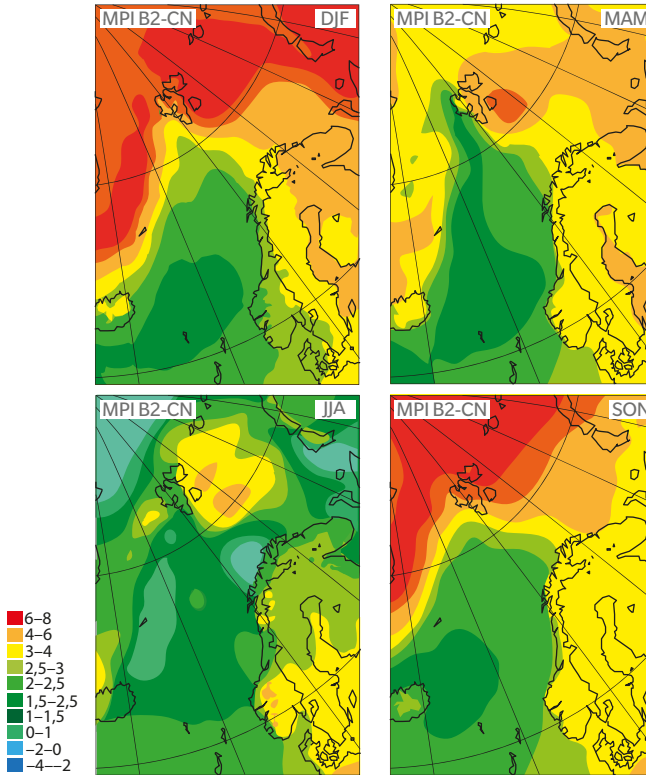
127 https://oarchive.arctic-council.org/bitstream/handle/11374/87/02_barrow_declaration_2000_signed.pdf?sequence=1&isAllowed=y

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.¹²⁸ 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.¹²⁹ 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.¹³⁰ Det ble også konkludert med at beskrivelsen av havisen i ECMWFs sesongvarsler,¹³¹ 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.¹³²

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.¹³³ 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-Norge¹³⁴ (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.¹³⁵ 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

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.¹³⁶

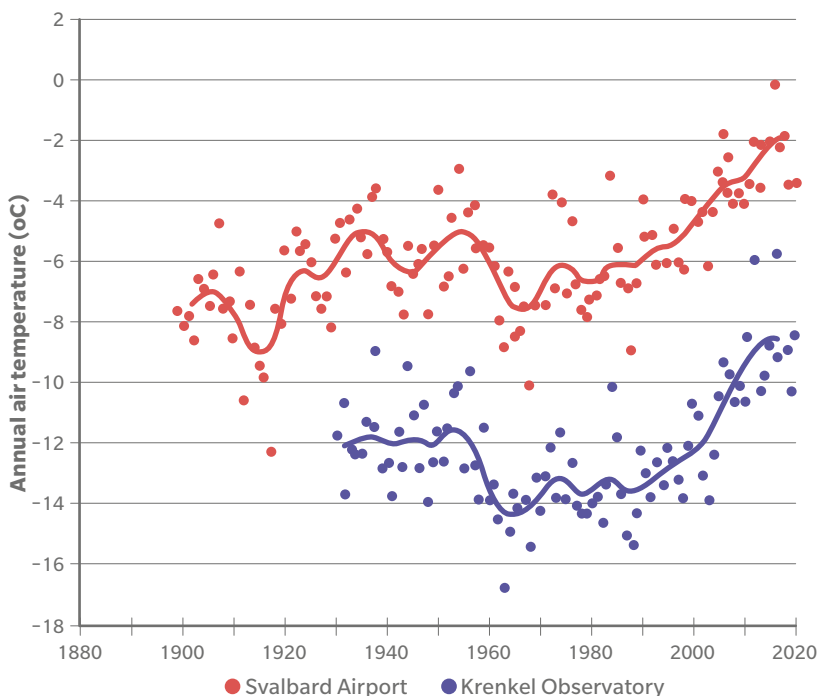
I 2019 ble klimasamarbeidet med AARI og SPU rettet nordover og østover i Barentsregionen. Russisk side gjorde tilgjengelig klimadata og sjøisinformasjon fra russiske værstasjoner på Frans Josefs land for hele perioden med instrumentelle observasjoner fra 1928 og fram til 2020, og en lang tidsserie for Frans Josefs land ble etablert.¹³⁷ 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.¹³⁸ 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)¹³⁹ og Krenkel-observatoriet (Ivanov mfl., 2021)¹⁴⁰ på Frans Josefs land (figur fra Isaksen mfl., 2022).¹⁴¹

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

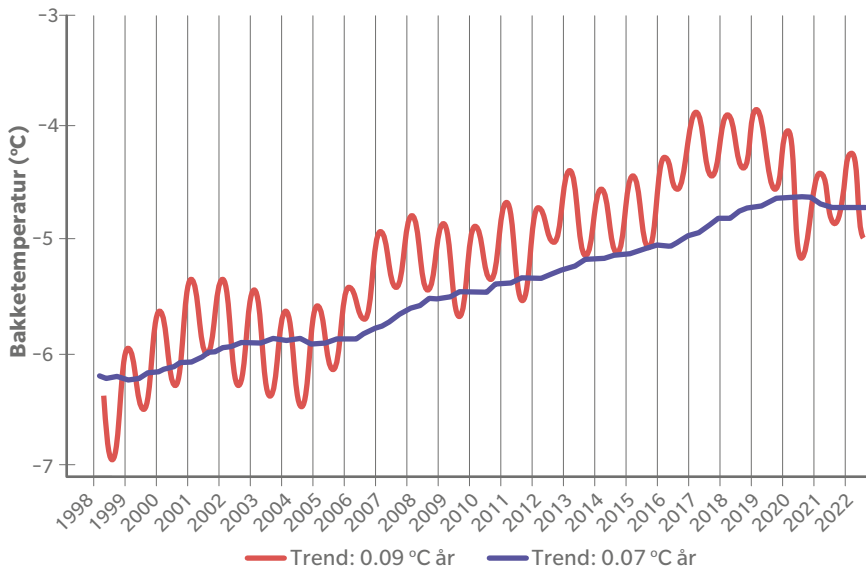
Permafrost er grunn som kontinuerlig holder seg under 0 °C i to eller flere år, lokalisert på land eller under havet, og forekommer i 15 % av landområdene på den nordlige halvkule, inkludert store områder i Alaska, Grønland, Canada og Sibir. Tykkelsen av permafrosten kan i enkelte områder være mer enn 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 CO₂ 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.¹⁴² 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 forskningsresultater¹⁴³ 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 Oljedirektoratet¹⁴⁴ med en forskrift om «Instrumentering av faste konstruksjoner». I begynnelsen av 1975 hadde Sjøfartsdirektoratet¹⁴⁵ 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 AMI¹⁴⁶ 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 1976.¹⁴⁷ 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)¹⁴⁸ 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 kunnskapsgrunnlaget 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. «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.¹⁴⁹

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, «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.¹⁵⁰

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 1981.¹⁵¹ I 1985 ble et nytt arkiv etablert og tatt i bruk.¹⁵² Det omfattet Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet (50–90 °N, 40 °W–40 °E i et 75 x 75 km² grid), og med tidsoppløsning på seks timer for perioden 1955–1981. Det ble senere oppdatert av Magnar Reistad og Knut Iden i 1998.¹⁵³ 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 WAM10¹⁵⁴ 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.¹⁵⁵

I dag (2022) er hindcast-arkivet basert på beregninger med ikke-hydrostatisk dynamikk og med tre km horisontal oppløsning (NORA3).¹⁵⁶ 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 bølgeklime 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.¹⁵⁷ 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.¹⁵⁸

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

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*¹⁵⁹

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,¹⁶⁰ 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.¹⁶¹

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 CO₂ (since 1980, for NOAA) and other climate-relevant gases (CO, molecular hydrogen, N₂O, SF₆, C¹³/C¹²-ratio in CO₂), to advanced process measurements related to the flux of CO₂ 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*¹⁶²

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 utnytting 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 Polarinstitut og Meteorologisk institutt, og til Jon Børre Ørbæk i Norges forskningsråd, med samme hovedbudskap som presentert av Gunnar Vassnes i Stortinget.¹⁶³ 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.¹⁶⁴ En arbeidsgruppe ved Meteorologisk institutt¹⁶⁵ 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 som¹⁶⁶ «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 CO₂ i vannoverflaten, og for dyphavsmålinger. Observasjonene som er gjort, kan lastes ned fra Havforskningsinstituttet.¹⁶⁷ 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.¹⁶⁸ 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.¹⁶⁹ 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,¹⁷⁰ næringssalter, klorofyll og vannprøver til karbonkjemianalyse ved Universitetet i Bergen¹⁷¹ 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 CO₂-data fra overflaten på Stasjon M er tilgjengelige via SOCAT A Collection of Surface Ocean CO₂ 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.¹⁷² Målefrekvensen anses tilstrekkelig for å fange opp langsomme endringer.¹⁷³

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.

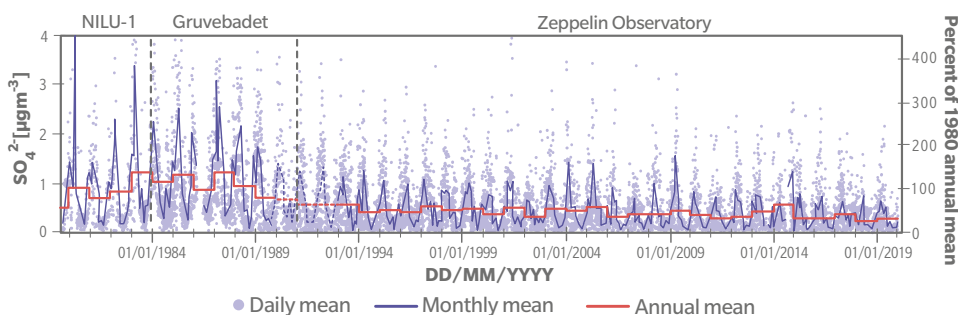
Når det gjelder andre observasjoner av særlig atmosfærisk relevans i tillegg til værelementene, kan nevnes målingene på Zeppelinobservatoriet (78,90 °N, 11,88 °E) som ligger på Zeppelifjellet 472 moh. i Ny-Ålesund på Spitsbergen, den største øya i Svalbard-øygruppen. Observatoriet ble etablert av NILU 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 overvåkningsprogrammer 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, CO₂, metan og aerosoler (se figuren under for sulfataerosoler).¹⁷⁴



Figur 3.15 Konsentrasjonen av partikulært sulfat (SO₄²⁻) 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⁻³.

NILU har en sentral rolle i ACTRIS, mens Meteorologisk institutts rolle er mer beskjedent og knyttet til AEROCOM, som er et forskerinitiativ og forskningsinfrastruktur for validering av kvaliteten på klimamodellers aerosolbeskrivelse og resultater.¹⁷⁵ 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. ACTRIS¹⁷⁶ har hovedvekten på atmosfæriske aerosolers livssyklus og klimarolle direkte og indirekte, mens i ICOS¹⁷⁷ 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 hydrologi¹⁷⁸ 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.¹⁷⁹

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.¹⁸⁰ 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,¹⁸¹ 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

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

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.¹⁸²

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^{183, 184} 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 Grønås¹⁸⁵ 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 UiB¹⁸⁶ (publisert vitenskapelig i 1999¹⁸⁷): 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.¹⁸⁸

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 1996.¹⁸⁹

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 1996.¹⁹⁰ 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:

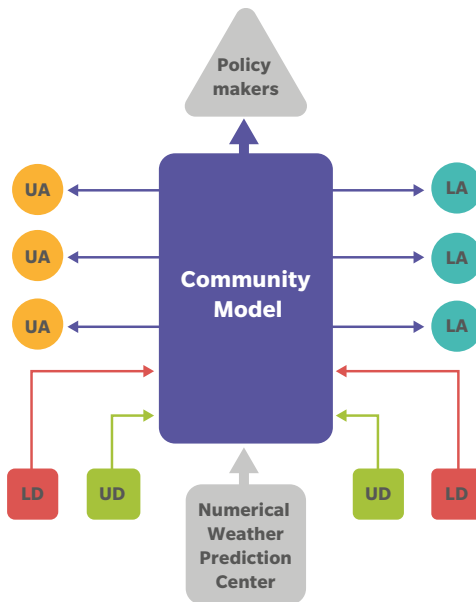
LD (instituttutviklere): Laboratory groups that do comprehensive development. The major LD centers have operational or quasi-operational roles with large communities of «users.» As a result, LD centers are forced to be somewhat conservative and they tend to be bureaucratic. The LD groups do applications 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).¹⁹¹

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 FN's klimapanel (IPCC) sin andre hovedrapport med fokus på fysisk klima, IPCC-1995.¹⁹² Like etter at rapporten var publisert, ble

192 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 1996.¹⁹³ 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.¹⁹⁴ 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).¹⁹⁵

- 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») vinddrevet, 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 1996¹⁹⁶ hadde klare budskap, som referert i kapittel 3.1.2.¹⁹⁷ 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.¹⁹⁸

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.¹⁹⁹ 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,²⁰⁰ 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.²⁰¹

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)²⁰² og hemisfærisk transport av partikkelforurensning²⁰³ 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).²⁰⁴ 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.²⁰⁵

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»)²⁰⁶ i flere globale klimamodeller.

Helge Drange tok sin PhD²⁰⁷ 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 Model²⁰⁸),²⁰⁹ 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 CO₂ 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.²¹⁰ 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 MM4²¹¹. 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.²¹² 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.²¹³ 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.²¹⁴

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.²¹⁵ 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.²¹⁶ 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.²¹⁷

Sverige hadde i årene 1984–1990 hatt de politisk kontroversielle «lönta-garfond» 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,²¹⁸ 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,²¹⁹ 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 2003,²²⁰ 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 starten²²¹ 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.²²² 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 resultater²²³

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 1996,²²⁴ 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.²²⁵ 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.²²⁶ 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.²²⁷ 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.²²⁸ Av praktiske årsaker ble Ådlandsvik senere erstattet av Lars Petter Røed.²²⁹ 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 Grammelvedt, 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.²³⁰ Detaljerte prosessstudier skulle redusere behovet for flukskorreksjoner.

Ideene bak prinsippene diskutert ovenfor om akademia og institutter i klimamodellering²³¹ 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 styre²³² 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.²³³ 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 2002²³⁴ 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 1999.²³⁵ 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).²³⁶ 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/arktisk-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),²³⁷ 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.²³⁸ 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)²³⁹ – 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

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.²⁴⁰ 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.²⁴¹

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

²⁴¹ 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 Nordbø²⁴² 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 1999²⁴³, 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 klimaforskning²⁴⁴ våren 1998. Som et ledd i sitt arbeid arrangerte utvalget to konferanser med bred faglig deltagelse i november 1998²⁴⁵ og november 1999²⁴⁶. 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 2000.²⁴⁷ 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.²⁴⁸

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.²⁴⁹ 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*.²⁵⁰

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 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.²⁵¹ 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).²⁵² 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:²⁵³

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

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 brosjyre²⁵⁴ 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

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)²⁵⁵ 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.²⁵⁶ 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 workshop²⁵⁷ 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 CO₂-innhold med 1 % per år inntil dobling. Omveltingen ble beregnet til å reduseres mellom 5 og 15 % ved doblet CO₂-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 CO₂ 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 CO₂-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.²⁵⁸ 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.²⁵⁹ 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.²⁶⁰ 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 2001.²⁶¹

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.²⁶² 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.²⁶³

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.²⁶⁴ 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

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>

Grønås²⁶⁵ 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.

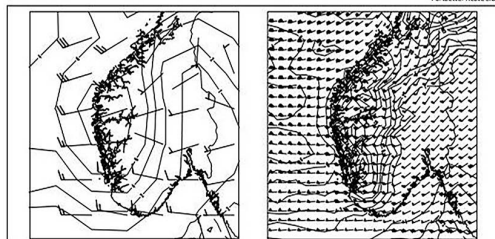
Av Trond Iversen, prosjektleder

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 drevet mye prosessen. 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 FNs 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 nedbørsfordeling. 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.²⁶⁶

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>

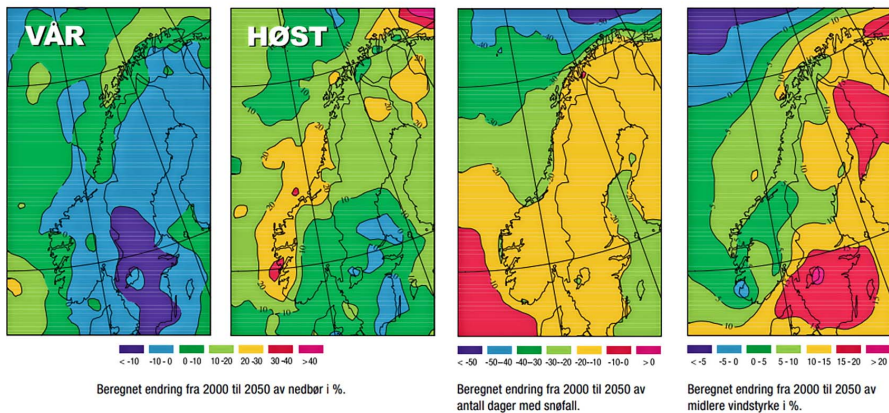
266 Klima nr. 2, 2008, s. 34–43. Digitale versjoner av Klima finnes her: <https://www.yumpu.com/no/document/read/38797073/magasinet-klima-2007-2014>

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.²⁶⁷ 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.²⁶⁸ 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

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 2000:²⁶⁹

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 CO₂ 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 2001:²⁷⁰

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 2002,²⁷¹ og pressekonferanse 14. september 2005.²⁷² 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.²⁷³

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

272 http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre2005.pdf og 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:²⁷⁴

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.

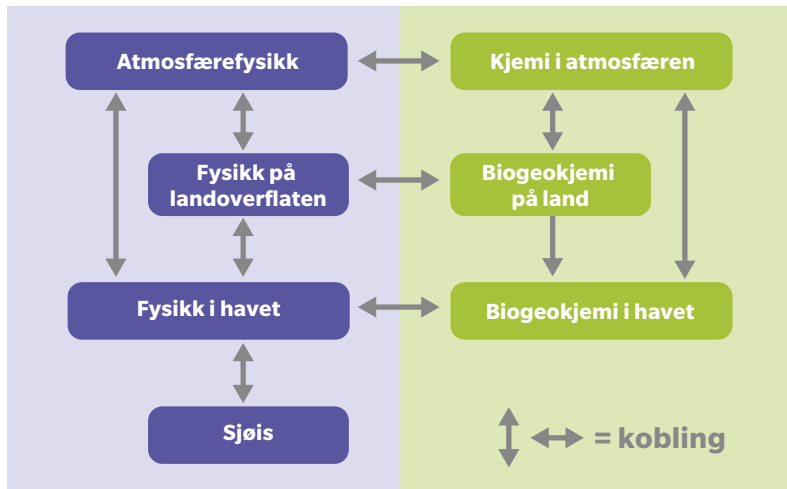
274 KlimaProg – Research Programme on Climate and Climate Change. Evaluation of the co-ordinated projects RegClim, NORPAST, COZUV and NOClim. Environment and Development the Research Council of Norway. 78 s., NILU OR 31/2002.

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 brosjyre²⁷⁵ 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 1996.²⁷⁶ Siden 2018 har NorESM vært definert som infrastruktur for klimaforskning i Norge.²⁷⁷

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://bjerknos.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.²⁷⁸

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 vanddamp i atmosfæren som igjen frigjør mer energi til lufta når det dannes nedbør. Transport av vanddamp 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,²⁷⁹ 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.²⁸⁰ 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?²⁸¹ 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

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.²⁸² Se resultater i Meteorologisk institutts klimarapport 24/98. Videre utvikling av metodene skjedde i samarbeid med David Stephenson ved University of Exeter, Doug Nychka²⁸³ 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.²⁸⁴ 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.²⁸⁵

Arbeidet med empirisk-statistisk nedskalering tok en dreining fra å nedskalere hver dag eller måned til å nedskalere parametrene som bestemmer den statistiske fordelingskurven,²⁸⁶ og som kan tallfestes på en sikrere måte enn dags- eller månedsverdier.²⁸⁷ 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.²⁸⁸ 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/

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.^{289, 290} 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.²⁹¹

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.²⁹² Annet internasjonalt samarbeid fant sted i regi av European Academies' Science Advisory Council (EASAC) med en syntese-rapport om ekstremvær i 2013,²⁹³ samarbeid med landene rundt Østersjøen og BALTEX,²⁹⁴ 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.

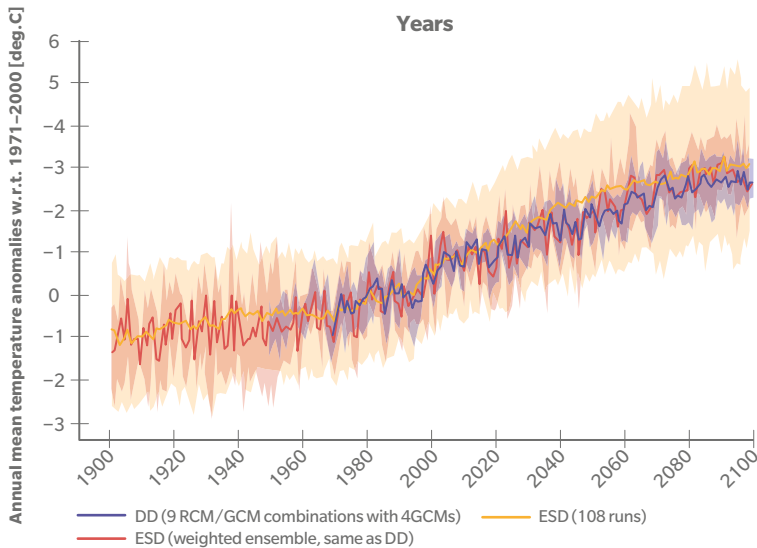
Norges EØS-kontingent (CHASE-PL-prosjektet). Nedskaleringskompetansen ved Meteorologisk institutt ble også brukt i prosjekter i India og Himalaya organisert via den norske ambassaden i Delhi og Forskningsrådet (INDNOR-programmet 2010–2019 og INDICE 2012–2016). Via deltagelse i EU-prosjektet FP7-SPECS (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.²⁹⁵ 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 velegnet 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 3.²⁹⁶ Senere kom CMIP5 med større ensembler på rundt 100 ulike kjøringene 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 ensemblekjøringene 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

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 stormfrekvens²⁹⁷ og intensitet-varighet-frekvens (IVF)-analyser.²⁹⁸ Estimeringen var basert på en stormbaneanalyse utført i et internasjonalt samarbeid i IMILAST-prosjektet²⁹⁹ 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.³⁰⁰ Erfaringene fra empirisk-statistisk nedskalering øker den statistiske forståelsen i klimaforskningen.³⁰¹

-
- 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 bølgeklimate 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.³⁰²

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.³⁰³

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.³⁰⁴ 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.³⁰⁵ 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.^{306, 307} 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)³⁰⁸ som senere ble erstattet av Miami Isopycnic³⁰⁹ Coordinate Ocean Model (MICOM)³¹⁰, 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.³¹¹ 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). 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.³¹² Havmodelleringen er dermed blitt en viktig og nødvendig del av Meteorologisk institutts tjenesteyting i forbindelse med varsler av ekstreme vannstandshendelser³¹³ 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.³¹⁴

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 ROMS³¹⁵ 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.^{316, 317} 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), NorKyst800³¹⁸ (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 havmiljøovervåkning og -varsling, og som er av økende betydning for utviklingen i internasjonal havovervåkning. 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 energibudsjettet i jord-atmosfæresystemet. Metan, lystgass, ozon og klorfluorkarboner er de viktigste kjemisk aktive drivhusgassene. CO₂ 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.³¹⁹

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

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,³²⁰ 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 1973.³²¹ Han overtok professoratet etter Hesstvedt i 1981³²² 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,³²³ og sammen med Ivar Isaksens og hans studenters videreutvikling³²⁴ 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 CO₂ kan påvirke ozonlaget,³²⁵ og i 1985 var Ivar Isaksen medforfatter av en gjennomgang av kunnskapen om «Trace gas effects on climate» i regi av NASA,³²⁶ 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.³²⁷ 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 CO₂ 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 O₃, OH, CH₄ and NO_x. *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.³²⁸ 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.³²⁹ 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.³³⁰

I en oversiktsartikkel om europeisk atmosfærekjemisk klimaforskning med Ivar Isaksen som hovedforfatter³³¹ er det medforfattere fra Meteorologisk institutt (Rasmus Benestad og Michael Gauss).³³² 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.³³³ Som påpekt annetsteds i denne artikkelen så var Mete-

328 Isaksen, I.S.A. (1991). *Betydningen av CF₄ og C₂F₆ 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 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.³³⁴

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.³³⁵ 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

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 1989.³³⁶

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.³³⁷ 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.^{338, 339}

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

339 Platt, S.M., Hov, Ø., Berg, T., Breivik, K., Eckhardt, S., Eleftheriadis, K., Evangeliou, 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),³⁴⁰ 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),³⁴¹ 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 rapporten³⁴² 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,³⁴³ «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 2011.³⁴⁴ 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.³⁴⁵ «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>

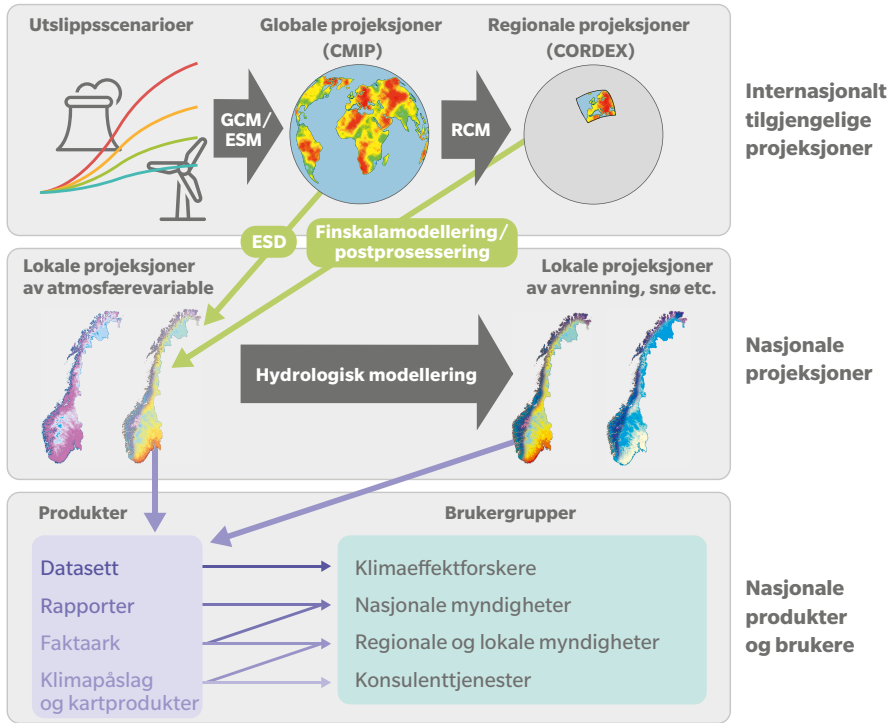
- 3) Gi enkel tilgang til norske klima- og hydrologiske observasjoner, framskrivninger og avledede produkter.
- 4) Omsette forskning til tjenester for klimatilpasning og initiere relevante eksternt finansierte FoU-prosjekter.
- 5) Delta i nasjonalt og internasjonalt samarbeid om klima og hydrologiske 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 klimapanel³⁴⁶ i en oppdatering som kom i 2015 av den norske klimarapporten fra 2009 for det norske fastland.³⁴⁷ 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

modeller. En tilsvarende rapport for Svalbard ble utgitt i 2019 basert på Arctic-CORDEX, CORDEX-prosjektets arktiske del.³⁴⁸ Den romlige oppløsningen i Arctic-CORDEX er grov, og de postprosesserte resultatene fra regional klimamodellering ble supplert med resultater fra en finskala klimamodell.³⁴⁹ 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.³⁵⁰ 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.³⁵¹ Klimaprofilene utgjør hovedreferansen i retningslinjene for klimatilpasning.

- EU-prosjektet CLIPC var en forløper for Copernicus Climate Change Service C3S,³⁵² 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 Bjerknessenteret 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.³⁵³
- 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.³⁵⁴

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 ERA³⁵⁵ 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,³⁵⁶ som er en del av EU-kommisjonens klimatjenester 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 klimatjenester. Ved World Climate Conference-3 i regi av WMO i 2009 ble det etterlyst et globalt rammeverk for klimatjenester³⁵⁷ 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 klimatjenester 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 klimatjenester i bistandsland.

Utviklingen av europeiske klimatjenester 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.³⁵⁸ 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-Cordex³⁵⁹ og Arctic-Cordex³⁶⁰ 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.³⁶¹ 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.³⁶² 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 vitenskapelig³⁶³ 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.³⁶⁴ 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.³⁶⁵ 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.³⁶⁶ Det ble etablert et europeisk Concerted Action (COST) fagnettverk om sammenhengen mellom solaktiviteten og jordens klima 2011–2015.³⁶⁷ Et av bidragene til dette fagsamarbeidet var en fagartikkel om kosmisk stråling og klima³⁶⁸ som også fikk et oppslag i *The Guardian*³⁶⁹ 12. november 2013. Gjennom RealClimate.org ble det skrevet en oppsummerende artikkel med tittelen «Learning From Mistakes in Climate Research»³⁷⁰ som ble angrepet av IPCCs motstandere. Dette arbeidet ble omtalt i *Scientific American*³⁷¹ 1. desember 2015 og ga stoff for NRKs Folkeopplysningen Klimakrisa i 2018.³⁷² 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.³⁷³ Denne artikkelen ble nevnt i *New Scientist* 5. juli 2019.³⁷⁴

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 publisert 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 CO₂-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 CO₂-utslippene knyttet til menneskelig aktivitet.³⁷⁵

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 landegrensener. 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

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.

Forskersamfunnet 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 akademia kobler seg nokså tett på infrastrukturen f.eks. ved Meteorologisk institutt, så vil det skje en kvalitetsheving over tid, og kandidater fra akademia 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.

Hov, Ø. & Eliassen, A. (2023). Veien til Norges medlemskap i ECMWF. I Ø. Hov (Red.), *Norsk meteorologisk forskning* (s. 321–402).

Fagbokforlaget.

DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220104>

4

Veien til Norges medlemskap i ECMWF

Øystein Hov og Anton Eliassen

4.1 Innledning

European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) er både et forskningsinstitutt og en 24/7/365 operasjonell tjeneste. Senteret produserer globale numeriske værprognoser og annen digital informasjon, og er også en infrastruktur av stor betydning i vær-, klima- og miljøforskning både i medlemslandene og etter hvert globalt. ECMWF disponerer en av verdens største supercomputere og datalagringsfasiliteter. Senteret yter bistand til Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) og WMOs medlemsland. ECMWF har utviklet seg til å være et knutepunkt for forskningen innenfor numerisk værvarsling og etter hvert jordsystemforskning både i Europa og globalt. Inngangsdataene til det aller meste av Meteorologisk institutts operative numeriske varslingsmodeller kommer fra ECMWF, og utgjør dermed en viktig del av grunnlaget både for instituttets løpende tjenester og for forskningen. Kvaliteten på ECMWFs værvarsler og produkter har utviklet seg

raskt og har i over 40 år vært verdensledende og av avgjørende betydning for at Meteorologisk institutt har vært i stand til å løse sitt samfunnsoppdrag – å sikre liv og verdier – med høy kvalitet.

Arbeidet med å opprette ECMWF-konvensjonen startet i 1969 i regi av De europeiske fellesskapene (EF) som et COST-prosjekt (Concerted action in science and technology). ECMWF-konvensjonen ble signert i 1973 og trådte i kraft 1. november 1975. Landene som ville bli medlemmer da, var Belgia, Danmark, Spania, Tyskland, Frankrike, Irland, Jugoslavia, Nederland, Finland, Sverige, Sveits og Storbritannia. Hellas, Italia, Portugal, Østerrike og Tyrkia var klare til å fullføre inntreden. Av landene som var med i planleggingsfasen, sto bare Luxembourg og Norge utenfor. Til forskjell fra de øvrige nordiske land som var medlemmer fra starten, kom ikke Norge med før vel 15 år senere, fra 1. januar 1989.

Det viste seg å bli en hemske for norsk værvarsling og meteorologisk forskning å stå utenfor ECMWF, og fagmiljøet i dag har vanskelig for å forstå hvorfor et slikt valg ble tatt. Hensikten med denne artikkelen er å beskrive Norges vei til ECMWF-medlemskap sett både fra datidens politiske myndigheter, forskningsmiljøer og ikke minst Meteorologisk institutts ledelse.

4.2 Politiske og faglige trekk på slutten av 1960-tallet

Det offisielle navnet på det som vi gjerne kalte Fellesmarkedet, var i perioden 1967–1993 De europeiske fellesskapene (EF), European Economic Communities (EEC), og besto av Det europeiske kull- og stålfellesskapet, Det europeiske atomenergifellesskapet og Det europeiske økonomiske fellesskap. EF hadde seks medlemmer fra opprettelsen i 1957. Fram til president Charles de Gaulles avgang i 1969 var adgangen stengt for nye land. I 1970 vedtok Stortinget å sende søknad om medlemskap, blant annet på bakgrunn av at forsøkene på en nærmere nordisk integrasjon hadde strandet. Per Borten ledet en koalisjonsregjering i perioden 1965–1971 og ble etterfulgt av den første Bratteli-regjeringen. Den gikk av etter at folkeavstemningen om EF i september 1972 ga nei-flertall. Danmark, Irland og Storbritannia ble medlemmer i 1973, Sverige, Finland og Østerrike fra 1995. Etter folkeavstemningen i 1994 trakk Norge sin søknad om medlemskap.

Vinteren 1969–1970 var det store tap av amerikanske liv i Vietnam og voldelige antikrigsdemonstrasjoner i USA. Den amerikanske administrasjonen skapte sikkerhetspolitisk usikkerhet i Vest-Europa. Richard Nixon var president, Spiro Agnew var visepresident og måtte senere gå av etter en korrupsjonsskandale der han hadde mottatt kickbacks for kontrakter i byggebransjen i Baltimore. John Mitchell var justisminister og ble senere stilt for retten for å ha gitt fordeler til en stor bidragsyter til Nixons valgkampfond. John Mitchell var lederen av Nixons valgorganisasjon. Amerikanske universiteter var fylt av studenter som for enhver pris ville unngå å bli mobilisert til krigstjeneste i Vietnam.

FN vedtok i 1961 en resolusjon om fredelig utnyttelse av det ytre verdensrom. WMO satte ned en gruppe bestående av representanter fra USA, Sovjetunionen, Storbritannia og Australia for å utarbeide forslag til videre utvikling av værvarslingen. Dette ga etter hvert opphavet til World Weather Watch, WWW, som ble satt ut i livet i 1963. Målet var å skaffe gode værvarsler for alle WMOs medlemsland. WWW hadde tre deler. Den ene var Global Observing System (GOS), som skulle koordinere værobservasjoner verden over på bakken, fra fly, ballonger og satellitter. De to andre delene var Global Telecommunication System (GTS), som administrerte dataflyten mellom WMOs medlemsland, og Global Data Processing System (GDPS), som etter hvert ble til Global Data Processing and Forecasting System (GDPFS), som hadde ansvaret for værvarslingen. Regionale meteorologiske sentra fikk ansvaret for å samle observasjoner og utarbeide værvarsler for regioner, slik som UK Meteorological Office i Bracknell vest for London for Europa, mens værtjenestene i Washington, D.C., Moskva og Melbourne ble globale meteorologiske sentra med ansvaret for å samle inn globale observasjoner og utarbeide analyser og globale varsler for de nærmeste dagene framover og sende disse over GTS til regionale og nasjonale sentra.

I Norge ble Miljøverndepartementet som det første i sitt slag i verden opprettet i 1972 med Olav Gjærevoll som minister i Brattelis regjering. Statens forurensningstilsyn ble opprettet 1. juni 1974 (Klima- og forurensningsdirektoratet fra 2010, Miljødirektoratet fra 2013) og overtok oppgaver fra det tidligere Røykskaderådet og Vann- og avløpskontoret ved Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. Norsk institutt for luftforskning (NILU) ble opprettet av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) i 1969. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) startet allerede i 1957.

I løpet av 1960-tallet tok EF initiativ til et mellomstatlig samarbeid om forskning og teknologi i Europa, The European Cooperation in Science and Technology, COST. Hensikten var å redusere forspranget som USA hadde. En mellomstatlig avtale ble signert på en ministerkonferanse i november 1971, i første omgang med 19 medlemmer, blant dem Norge, Østerrike, Sveits, Danmark, Spania, Finland, Hellas, Irland, Portugal, Sverige, Tyrkia og Jugoslavia som alle sto utenfor EF på den tiden. I 2020 har COST-samarbeidet 38 medlemmer i tillegg til at det er etablert partnerskap med Israel og Sør-Afrika. EU finansierer COST-samarbeidet.



Figur 4.1 FNs generalsekretær, burmeseren U Thant (nr. to fra venstre), åpner WMOs sjette kongress i Genève i april 1971. Assisterende generalsekretær i WMO, Kaare Langlo, til høyre, og WMOs president Alf Nyberg, generaldirektør for SMHI, i midten. Alf Nyberg ledet COST-prosjektet som planla ECMWF (kilde: One hundred years of international co-operation in meteorology (1873–1973): a historical review, WMO report No 345 1973¹)

1 https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=7069#.YLZEK9Uzapp

I 1971 kom boken *Inadvertent Climate Modification – Report of the Study of Man's Impact on Climate (SMIC)*² og bidro til økt miljøbevissthet knyttet til klimaproblematikken. Ikke lenge etter (1972) kom *The Limits to Growth (Hvor går grensen?* i norsk utgave) også fra MIT og Romaklubben, av Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jørgen Randers og William W. Behrens III på vegne av et team på 17 forskere.

I oktober 1967 publiserte den svenske forskeren Svante Odén artikkelen «Nederbørdens forurensning» i Dagens Nyheter om forurensningen av vassdragene i Sverige og Norge med fiskedød som resultat, og sammenhengen det syntes å ha med svovelutslippene på Kontinentet. Dette ga støtet både til oppbyggingen av sur-nedbør-forskningen i Norden og i Europa, først gjennom Nordforsk³ og OECD, deretter gjennom UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) i Genève, og til det miljøpolitiske arbeidet for å redusere forurensningsutslipp. Den første fasen av dette arbeidet er rapportert av Brynjulf Ottar, NILUs instituttsjef, i «Årsakene til nedbørens forurensning, rapport fra et samnordisk forskningsprosjekt»⁴. Dette Nordforskprosjektet hadde en ledergruppe med generaldirektør Alf Nyberg ved SMHI som ordfører, og ellers deltok ledende personer fra de meteorologiske instituttene i Danmark, Finland, Island, Norge (forsker Jack Nordø ved DNMI) i tillegg til NILU, IVL, MISU i Stockholm og Institut för Arbetshygien i Helsinki. Ottar skriver at dette var «en meget slagkraftig gruppe fordi den bestod av ledere fra de samme institusjonene som gjorde arbeidet i prosjektet».

I juni 1972 ble verdens første store miljøvernkonferanse i regi av FN på regjeringnivå holdt i Stockholm – *United Nations Conference on the Human Environment*. Konferansens åpningsdag 5. juni er siden markert som verdens miljøverndag. I alt 113 land deltok. Statsråd Olav Gjærevoll ledet den norske delegasjonen. Sovjetunionen og de østeuropeiske statene deltok ikke. Stockholmskonferansen vedtok FNs miljøvernerklæring (*Declaration on the Human Environment*), der menneskehetens forpliktelse overfor natur og

2 M.I.T. Press, Cambridge, Mass., xxiv, 308 pp.

3 Nordforsk var et samarbeidsorgan for den teknisk-naturvitenskapelige forskning i de nordiske land etablert i 1947 for å dekke behovet for kontakter over de nordiske grensene. Norges teknisk-naturvitenskapelig forskningsråd NTNRF hadde ansvaret for det norske bidraget til Nordforsk.

4 Ottar, B. (1975). *Årsakene til nedbørens forurensning, rapport fra et samnordisk forskningsprosjekt Nordforsk*, Miljøvårdssekretariatet. Rapport 1975:10, 60 sider.

miljø ble slått fast. Et annet resultat av konferansen var opprettelsen av FNs miljøvernprogram UNEP. Sveriges «case study» presentert på Stockholmskonferansen var «Air Pollution across National Boundaries: The Impact on the Environment of Sulfur in Air and Precipitation».⁵

4.3 Framveksten av COST-samarbeidet ledet av EF

I et brev fra Kirke- og undervisningsdepartementet (KUD) 15. desember 1969 til DNMI var det lagt ved en redegjørelse om «EEC – Teknologisk samarbeid» fra Utenriksdepartementet datert 13. november 1969 fra Asbjørn Skarstein og parafert av Erik Lykke, de signerte «for Utenriksministeren», John Lyng.⁶ Redegjørelsen fra UD ble sendt til Departement for handel og skipsfart, Departement for industri og håndverk, Kirke- og undervisningsdepartementet og Samferdselsdepartementet.

EEC – Europeisk teknologisk samarbeid.

Vedlagt oversendes avtrykk av brev av 4 d.s. med vedlegg stilet til utenriksminister John Lyng fra Formannen i Rådet for De Europeiske Fellesskap vedrørende europeisk teknologisk samarbeid. Videre vedlegges avtrykk av innberetning av 5 d.s. fra ambassaden i Brussel i sakens anledning.

Utenriksdepartementets svarbrev av 11 d.s. følger også vedlagt.⁷

Det vil sees at Fellesmarkedslandene er blitt enige om å etablere et arbeidsprogram med sikte på å stimulere vitenskapelig og teknologisk forskning og gjenvinne tapt terreng på disse felter, og at dette, hvor det er mulig, skal skje i samarbeid med andre europeiske land. Det opplyses at det allerede hersker stor grad av enighet mellom Fellesmarkedslandene

5 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.

6 MET-ECMWF-COST_etablering_041169.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

7 Korrespondansen fra presidenten i Rådet for EEC og rapporten om etableringen av COST-samarbeidet, se MET-ECMWF-KUD_UD-DNMI-om COST70_Fjertofts respons 311269.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

om 14 prosjekter innen områdene dokumentasjon/informasjon, telekommunikasjoner, transport, oseanografi, metallurgi, forurensninger og meteorologi.

Videre heter det i brevet at Fellesmarkedslandene legger stor vekt på Norges deltakelse i et slikt samarbeid og ønsker å bli meddelt, så vidt mulig innen årets utgang, den norske regjering holdning til de foreliggende forslag og de forslag og kommentarer som man ønsker å fremkomme med fra norsk side. Det gjøres i den forbindelse oppmerksom på at behandlingen av tekniske og finansielle problemer som reiser seg i tilknytning til forslagene bør utstå til et senere stadium.

Tilsvarende brev er sendt Storbritannia, Danmark, Irland, Portugal, Spania, Sveits, Sverige og Østerrike.

Med brevet fra UD fulgte «Memorandum drawn up by the member states of the European Communities setting up certain considerations arising from the study of the comprehensive report and the supplementary report». Dette var et forslag utviklet av en arbeidsgruppe i EF og som ble formidlet til Norge og andre ikke-EF-land fra presidenten i Rådet for de europeiske fellesskap i et brev som var datert Luxembourg 4.11.1969 og stilet til utenriksminister John Lyng. Forslaget innebærer et europeisk teknisk-vitenskapelig samarbeid på enkelte felter av stor samfunnsinteresse. Det er ikke prioritert å etablere nye institusjoner eller organisasjoner, men bygge på det som eksisterer og utnytte det på en ny måte. Samarbeid med industri står sentralt. Forslaget har som mål at Europa samler seg «to catch up». Dette skal ha en «nedenfra-og-opp»-karakter uten dominerende sentraldirigering og skal starte innenfor de eksisterende organisatoriske strukturene. Forslagene er en begynnelse, og peker henimot rammeprogrammene for forskning og utvikling som ble satt i verk nesten 20 år senere. Det foreslås først «exploratory studies» for å slå fast «long-term needs in a given sector» og hva slags teknologisk utvikling som kan ligge til grunn. Ulike prosjekttyper som kan egne seg, diskuteres, for eksempel «public service and research projects» som både skal dekke grunnleggende forskning, standardisering av regler og rammeverk, så vel som tjenesteutvikling. Formene for samarbeid og organisering som ble foreslått, var til dels nye, og reflekterer at temaer som det er i stor samfunnsinteresse å utvikle, må bearbeides forskningsmessig, teknologisk, juridisk, økonomisk og politisk. Rekkefølgen av og innsatsfaktorene i dette

arbeidet må være slik at det kan etableres velfungerende brukerinformerte og kunnskapsdrevne systemer.

Sett med dagens øyne er denne tankegangen godt egnet til forsknings- og tjenesteutvikling i samfunnsnære kunnskapssektorer slik som i meteorologi (og etter hvert i alle komponenter av jordsystemet inkl. biogeokjemiske kretsløp lokalt, regionalt og globalt).

Det norske svarbrevet til presidenten for De europeiske fellesskap er datert 11. november 1969 fra utenriksråd Thore Boye på vegne av utenriksministeren. Der tillegges EF-initiativet stor betydning, og det blir lovt at de 14 prosjektene som er foreslått, skal vurderes nøye gjennom konsultasjon med relevante norske myndigheter. «The conclusion of this study will be submitted to you as soon as possible.»

Kontakt med DNMI ble tatt i brev fra Kirke- og undervisningsdepartementet 15. desember 1969 «EEC-Europeisk teknologisk samarbeid» fra Enevald Skadsem og Dag Omholt.⁸ Enevald Skadsem (1919–1990) var statssekretær i KUD 1960–1965 under Helge Sivertsen, avbrutt i en måned høsten 1963 av Magne Lerheim som ellers var kontorsjef ved Universitetet i Bergen på den tiden. Skadsem var statsråd Birger Bergersens personlige sekretær 1955–1960 – statssekretærfunksjonen ble opprettet i 1960. Skadsem var ekspedisjonssjef i Kirke- og undervisningsdepartementet fra 1965 til 1986 da han gikk av for aldersgrensen.

Dette brevet er en generell forespørsel om en vurdering av Norges interesse for å delta i flere COST-prosjekter, særlig COST43 «Setting up of an oceanographic and meteorological measuring network in European waters» og COST70 «European computation centre for meteorological exploitation and research».

8 Se MET-ECMWF-KUD_UD-DNMI-om COST70_Fjertofts respons 311269.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

4.4 DNMI sier at Prosjekt70 er «helt unødvendig»

DNMI svarer Kirke- og undervisningsdepartementet i brev av 31. desember 1969 signert av direktør Ragnar Fjørtoft og parafert av Peter Thrane.⁹ Brevet fra Fjørtoft forklarer virksomheten i WMO der Norge deltar og der det er etablert et teknologisk samarbeid i fullt monn:

WMO har 8 teknologiske kommisjoner og Norge er representert i alle disse. (...) Prinsipielt må vi derfor hevde at Norge ikke bør delta i internasjonale meteorologiske prosjekter uten at disse er koordinert med WMO's virksomhet på de samme områder.

Når det gjelder prosjektene som er nevnt i departementets brev, kan følgende opplysninger være av interesse:

«Project43 Setting up of an oceanographic and meteorological measuring network in European waters». På dette område eksisterer allerede et organisert samarbeid mellom WMO og Intergovernmental Oceanographic Commission.

«Project70 European computation centre for meteorological exploitation and research». Det heter at dette skal ha to formål, nemlig «rendering of public services and research to improve those services.»

Når det gjelder førstnevnte, er det viktig å være oppmerksom på at WMO på sin kongress i 1967 vedtok en plan for utvikling av værtjenesten på global basis, «World Weather Watch» (WWW). I denne plan inngår bl.a. tre «World Meteorological Centres» og en rekke «Regional Meteorological Centres» foruten de nasjonale meteorologiske sentrer. Det er forutsetningen at disse sentrer skal sørge for all værvarsling og andre meteorologiske tjenester for offentligheten. *Det er derfor helt unødvendig å opprette noe nytt europeisk meteorologisk senter utenom WWW-planen for «public services»* (vår kursivering).

9 Ibid.

Når det gjelder et meteorologisk forskningssenter bør man stille seg avventende. Det eksisterer et samarbeid mellom WMO og International Council of Scientific Unions (ICSU¹⁰) om et forskningsprogram som kalles «Global Atmospheric Research Programme» (GARP), og eventuelle nye internasjonale forskningsprosjekter bør koordineres med GARP.

«Project71 European Meteorological Satellites». Det er opplyst i Annex B til Utenriksdepartementets brev av 13.11.1969 at dette prosjekt ikke er godkjent. Vi finner det derfor ikke nødvendig å gi noen uttalelse om det.

«Project72 Development and standardization of meteorological equipment». En av WMO's tekniske kommisjoner er «Commission for Instruments and Methods of Observation» (CIMO). Denne kommisjon arbeider stort sett med de samme problemer som er nevnt under «project 72». Også her er derfor en koordinering nødvendig.

Gjennom dette brevet tar DNMI et kategorisk standpunkt («Det er derfor helt unødvendig å opprette noe nytt europeisk meteorologisk senter utenom WWW-planen for 'public services'») som vil vise seg å være bestemmende for norsk ECMWF-medlemskap. Holdningen til forskningssamarbeidsdelen er avventende og mindre kategorisk. Det var kort svarfrist i departementets brev datert 15. desember 1969, og DNMI svarte altså 31. desember 1969, midt i juleferien. Det var neppe konsultasjoner av betydning for DNMI svarte, likevel var standpunktet kategorisk. Dette viste seg å få en høy kostnad for norsk værvarsling og DNMI, og det er neppe grunn til å bli overrasket når Kaare Langlo (direktør 1978–1983) og Arne Grammeltvedt (direktør 1983–1999) 10–15 år senere i brev til KUD klager over at norsk værvarsling og meteorologi i 1970-årene ble akterutseilt og isolert, uten at de formidler at DNMI selv hadde ansvaret for denne situasjonen. Dette kommer vi tilbake til.

Fjortoft formulerer seg som om han mener at det er konkurranse og overlapp med WMOs planer slik at Prosjekt70 er overflødig. Det er nesten

10 Nå ISC, International Science Council, som er sammenslutningen av ICSU og ISSC (International Social Sciences Council).

utenkelig at Fjørtoft ikke var oppmerksom på at et World Meteorological Center var prisgitt nasjonal finansiering, politikk og teknologiske muligheter, mens siktemålet med Prosjekt70 var et europeisk samarbeid om et nytt senter for værvarsling og forskning der medlemslandene er forpliktet både økonomisk, teknologisk og politisk. Status som World Meteorological Center i WWW innebar ingen garanti for at den ville bli fulgt opp med praktisk handling. Enkelte beslutninger av denne art i FN-systemet har en politisk klang og kan utgjøre papirtigre. I dette tilfellet er det klart at senteret i Moskva hadde en økonomisk og politisk plattform som stod langt tilbake for det som var mulig og som ble ventet av land som Norge. Russerne stod ganske svakt teknologisk på 1960–70-tallet, det var restriksjoner på avansert eksport fra vest til øst (COCOM-reglene) som rammet Sovjetunionen, og systemet der la begrensninger på forskningen. Dette var allment kjent, også ved selvsyn, for eksempel var professor Arnt Eliassen ved UiO og Hilding Sundqvist fra universitetet i Stockholm deltagere ved en meteorologisk kongress i Moskva i 1966 og fikk førstehånds innsyn i situasjonen der.

Fjørtoft var nok oppmerksom på at WMO først og fremst har som formål å forbedre værtjenestene i land med utilstrekkelig egen evne til å drive en god meteorologisk infrastruktur for eksempel til støtte for landbruket. WMO er avhengig av at de mest avanserte land kanalisere sine kunnskaper og praksiserfaringer til alle andre land gjennom WMO. WMO tar ikke ansvaret for progresjonen i værvarslingen i de mest avanserte land, WMO skal først og fremst bidra til at «nobody is left behind». Nettopp av denne grunn ville Prosjekt70 kunne være av stor betydning for WMO. Og i dag kjenner vi realiteten i dette i og med at etter mer enn 40 års eksistens har det vist seg at ECMWFs forskning, analyser og værprognoser er av stor betydning for WMO og WMOs medlemsland. Det kan hevdes at Fjørtoft her førte norske myndigheter bak lyset, og at hans egentlige motforestillinger bygger på andre forhold enn det han tar frem i denne første responsen til Kirke- og undervisningsdepartementet datert 31. desember 1969, som f.eks. skepsis til EF.

4.5 COST70 og COST61a var sammenfallende i tid, men diametralt forskjellige i norsk oppfølging

Noen av COST-prosjektene som var nevnt på listen i brevet fra KUD 4. november 1969¹¹ til Meteorologisk institutt om teknologisamarbeid, tilhører «Environmental pollution sector, where a series of recurrent programmes can be launched, the first being established on the basis of the studies which led to the proposals for projects 61 to 69. Parts of these projects could be carried out in accordance with the principle of concerted action». Prosjekt61 er «Physico-chemical behaviour of atmospheric pollutants», som Ottar (1975)¹² nevner i sin Nordforsk-rapport om «Årsakene til nedbørens forsurening» der det på side 14 heter at «prosjektet som er under planlegging på flere internasjonale møter i løpet 1970 i regi av Nordforsk og OECD, skal kartlegge hvordan sur nedbør bringes til Skandinavia gjennom atmosfærisk transport, og hvilke kjemiske prosesser som påvirker svoveldioksidkonsentrasjonene underveis inkludert utfelling med nedbør». Her sies det eksplisitt at de kjemiske prosessene ikke skal studeres i Nordforsk-OECD-prosjektet fordi «slike undersøkelser ville bli tatt opp av EEC-landene i deres COST-program». Brynjulf Ottar fra NILU ledet og Jack Nordø fra DNMI deltok i planarbeidet i Nordforsk. DNMI berører ikke disse planene i sin kommunikasjon med Kirke- og undervisningsdepartementet.

COST70 var et unntak blant COST-prosjektene, det skulle etablere en ny organisasjon med et formål som konkurrerte med veletablerte nasjonale meteorologiske institutters mål. De andre COST-prosjektene skulle legge til rette for teknisk-vitenskapelige samarbeid om nye temaer mellom eksisterende institusjoner. DNMI og Fjortoft bragte imidlertid ikke konkurransemomentet inn i avvisningen av norsk deltagelse i COST70, deres argument var at et nytt senter lett kunne duplisere eksisterende planer og produksjon i regi av WMO.

Fjortoft sier i sitt skriv til ekspedisjonssjef Skadsem i KUD 7. juli 1971 (se under) at «etter instituttets mening er det uomtvistelig at de planlagte

11 MET-ECMWF-COST_etablering_041169.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

12 Ottar, B. (1975). *Årsakene til nedbørens forsurening, rapport fra et samnordisk forskningsprosjekt Nordforsk*, Miljøvårdssekretariatet. Rapport 1975:10, 60 sider.

operasjonelle varsler ved sentret vil bli en duplisering av tilsvarende varsler som er planlagt å kunne fåes fra World Meteorological Center, Washington». COST70 ville altså ikke konkurrere med DNMI, det var rett og slett unødvendig. Kvaliteten på varslene noen dager frem i tid var ikke særlig høy ved noen av WMOs World Meteorological eller Regional Meteorological Centers. Fjørtoft hadde naturlig nok vanskeligheter med å forestille seg hvor gode varslene faktisk ville bli i fremtiden. Han var ikke tilhenger av å basere seg på de primitive dynamiske ligningene, de inneholdt for mange løsninger som kunne bringe prognosen ut av balanse. Det er forståelig at Fjørtoft hadde tro på at amerikanerne ville fortsette å ligge i første linje i NWP. USA var faglig førende, og koblet med anti-EF-holdning gjorde det kanskje utslaget?

En parallell drøfting av COST70 og COST61a kan være fruktbar siden COST70 ikke ble ansett å true DNMI eksistens.

COST61a «Physico chemical behaviour of atmospheric pollutants» ble trolig formidlet til NILU, og er kjent for Ottar (1975),¹³ Øystein Hov ble NILUs/Norges representant i COST61a som forsker ved NILU fra 1981. COST61a var et «vanlig» COST-prosjekt i den forstand at det ikke hadde målsetting om internasjonal institusjonsetablering, slik som var det uvanlige og mer utfordrende målet i COST70. Det ser ikke ut til å ha vært nevneverdig norsk aktivitet i COST61a på 1970-tallet. Jack Nordø er listet som teknisk deltager i COST61a i brev fra Utenriksdepartementet signert av byråsjef Erik Lykke 12. desember 1970.¹⁴ Jack Nordø var meteorolog og statistiker.

Forskerne Stuart Penkett og Tony Cox ved Atomic Energy Research Establishment, Harwell i Storbritannia, var med i COST61a fra 1970-tallet. Penketts bestemmelse av hastighetskonstanten for oksidasjon av SO₂ i væskefase stammer derfra. Denne prosessen er viktig for andelen av SO₂-utslippene som overføres til sulfatpartikler i atmosfæren. Partiklene har i gjennomsnitt lenger oppholdstid i atmosfæren enn SO₂ og bidrar dermed mer enn SO₂ til forurensningstransporten over lange avstander som fra Storbritannia til Skandinavia. Tenkningen bak arbeidet som Ottar og kolleger utviklet gjennom Nordforsk-OECD-samarbeidet og der COST61a var et ele-

13 Ibid.

14 MET-ECMWF-COST_etablering_041169.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

ment, og måten Fjørtoft etablerte standpunkter på i COST70, var diametralt forskjellige, selv om de sammenfalt i tid. Fjørtoft involverte ikke andre med relevante innsikter, mens Ottar dokumenterer en inkluderende framgangsmåte på tvers av akademia, forskningsinstitutter, forvaltning og landegrenser i Norden i Nordforsk og COST61a.¹⁵ Og resultatene for Norge ble fram til 1989 utvilsomt mye bedre i Nordforsk enn i ECMWF.

4.6 COST-samarbeidets mellomstatlige karakter

Det var presidenten i Europarådet som henvendte seg til utenriksminister John Lyng med forespørselen, den var på regjeringnivå og måtte behandles deretter. Slik vi ser det i dag, ville det i tilknytning til det enkelte prosjektforslag vært naturlig å drøfte hvilken betydning det kunne ha for nasjonal teknologisk, økonomisk, sikkerhetsmessig, forskningsmessig, fagpolitisk og generell politisk utvikling, dette var nesten tre år før den første EF-avstemningen i Norge. For DNMI som nasjonal faginstans i meteorologi hadde det vært naturlig å konsentrere seg om de teknologiske, forskningsmessige og fagpolitiske sidene av prosjektforslagene i den utstrekning de var relevante for DNMI's kompetanse, f.eks. relasjonen til WMO. Det kunne vært naturlig også å referere hvilke standpunkter som vokste fram i de andre nordiske land.

I sitt svarbrev av 31. desember 1969 viste Fjørtoft ingen tegn til å antyde bredden i spørsmålsstillingene i kjølvannet av COST-forslaget. Han konsentrerte seg bare om det fagpolitiske, der han uttrykte et kategorisk og snevert standpunkt uten å ha hatt en drøfting og problematisering ikke minst av WMOs rolle og betydning. Det var ingen drøftingsfase på nasjonalt plan sett ut fra nasjonale interesser før dette kategoriske standpunktet kom fra fagetatens leder. Det skal vise seg at senere forsøk fra flere departementer på å åpne mer for en drøfting og refleksjon – både KUD og UD stilte etter hvert spørsmål – ble møtt med fastholdelse av det opprinnelige sjefsstandpunktet fra DNMI.

15 Grennfelt, P. & Hov, Ø. (2022). Under skriving.

Det ser ikke ut til at Fjørtoft bragte på bane vitenskapelig baserte argumenter som han sikkert hadde god kunnskap om, og som i første rekke baserte seg på resultater fra Ed Lorenz, som var grunnleggeren av moderne kaosteori. Kaosteori er en gren av matematikken som brukes til å beskrive utviklingen av dynamiske systemer der følsomhet for initialbetingelsene («sensitive dependence on initial conditions») er et sentralt begrep. En nøyaktig bestemmelse av initialbetingelser er en forutsetning for å få prediksjoner av god kvalitet også etter noe tid, og der Lorenz kom fram til at feilen i initialbetingelsene i et værvarsel vil kunne fordobles i varselet i løpet av få dager.¹⁶ Ed Lorenz skriver i konklusjonene på en artikkel fra 1963 «Deterministic Nonperiodic Flow» at «In view of the inevitable inaccuracy and incompleteness of weather observations, precise very-long-range forecasting would seem to be non-existent». Men han sier også at «There remains the very important question as to how long is very-long-range». Denne setningen åpner for at langtidsvarsling kan være mulig opp til et visst punkt. Denne artikkelen ble etter hvert ganske berømt. Den ble fullført fire måneder etter at Ed Lorenz hadde et opphold i Oslo med Fjørtoft, og som er nærmere beskrevet i avhandlingen til Aass Kristiansen (2017).¹⁷

Fjørtofts senere vektlegging av at utbygging av de globale observasjonssystemene i meteorologi måtte ha prioritet over ressursbruk på forskning og utvidede beregninger av værprognoser, kan avspeile Lorenz' forskning, uten at det står noe om det i brevene fra DNMI om COST70.

Ragnar Fjørtoft og Arnt Eliassen hadde nære samarbeidsrelasjoner med Ed Lorenz fra 1950-tallet. Også Jack Nordø var brakt inn i dette samarbeidet.¹⁸ Det kan tenkes at Lorenz' resultater plantet en pessimisme hos dynamikerne om at det var nytteløst å komme særlig lenger i værvarsling og prøve å lage pålitelige 10-dagers varsler. Denne pessimismen ble ikke uttrykt eksplisitt, men kan kanskje leses ut av standpunktene de inntok og forsknings-

16 Se for eksempel https://eapsweb.mit.edu/sites/default/files/Three_approaches_1969.pdf, Lorenz, E.N. (1963). The predictability of hydrodynamic flow, *Transactions of The New York Academy of Science*, 25, 4, Series II, 409–432, som viste at det er en grense for hvor langt frem i tid endringer i hydrodynamisk strøm kan beregnes uten at små variasjoner i begynnelsestilstanden fører til vekst i småskalafenomener og til slutt ender opp i kaos.

17 Kristiansen, T.Aa. (2017). *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*. PhD-avhandling, Universitetet i Bergen.

18 Ibid.

oppgavene de konsentrerte seg om utover på 1970-tallet som ikke dreide seg om prediktabilitet og numerisk værvarsling. Det kunne ha vært av særlig betydning om Fjørtoft kom i besittelse av en slik pessimisme, fordi det ville ha preget begrunnelsen for beslutninger han tok utover i sin direktørtid, uten at dette ble diskutert med noen, bortsett fra kanskje med Arnt Eliassen. Fjørtoft tok vidtrekkende beslutninger på vegne av instituttet – og på vegne av nasjonale interesser – på egen hånd. Det var ikke mange han lyttet til om han var i en rådslagning, han var sikker i sin sak.

Ragnar Fjørtoft og Arnt Eliassen ble etter tur headhunted av John von Neumann¹⁹ ved Institute for Advanced Study i Princeton noen år etter krigen, til et forskningsmiljø i øvre verdensklasse, med Albert Einstein og en rekke andre berømtheter. Fjørtoft og Eliassen hadde gjennom sine doktorgrader og i det som fulgte av forskningsarbeider, holdt svært høy analytisk kvalitet. Det kan ha satt sine spor hos dem. De visste begge godt at de var i verdensklasse. Arnt Eliassens forskning var mer matematisk-analytisk enn knyttet til numerisk værvarsling, selv om mange av resultatene hadde relevans for værvarslingen. Fjørtoft ble direktør for Meteorologisk institutt, og instituttet ble preget av at samarbeidet mellom lederne var dårlig og av at instituttet visste best hva allmennheten trengte av værvarsler og annen meteorologisk informasjon. Det var seg selv nok.

Det er vanskelig å begripe at ikke embetsverket i Utenriksdepartementet forlangte via Kirke- og undervisningsdepartementet (KUD) å få en bredere, grundigere og mer representativ analyse. Skyldtes dette redsel for å måtte kjempe for budsjettmidler i neste omgang til KUD? Var det sterke enkeltpersoner som stod i veien? Var det svakheter i politisk ledelse i departementene? Svaret er kanskje ja på alle disse spørsmålene. Fjørtoft og Skadsem

19 Von Neumann (1903–1957) var født og oppvokst i Ungarn, men reiste til Tyskland og Sveits for å få utdanning. Han hadde vitenskapelige stillinger ved universiteter i Tyskland og gjorde seg bemerket innenfor en rekke fagfelt. Fra 1930 var han ved Princeton University, fra 1933 ved Institute for Advanced Study. Han var tilknyttet en lang rekke universiteter, forskningsinstitusjoner, statlige organer og kommersielle selskaper som foreleser og rådgiver. Von Neumann er blitt kalt «den siste av de store matematikerne» og «kanskje den mest innflytelsesrike matematiker som noen gang har levd». Operatorteori innenfor kvantemekanikk, utvikling av funksjonalanalyse, spillteori og moderne numerisk analyse hørte til feltene der han ledet an. Han var med i Manhattanprosjektet som utviklet den første atombomben. Etter andre verdenskrig var han en pionér i utvikling og design av de første programmerbare datamaskinene (https://no.wikipedia.org/wiki/John_von_Neumann).

var sterke. Etter EF-avstemningen i september 1972 forsvant dessuten en del av den politiske drivkraften for samarbeid med EF.

I dag er en slik saksbehandling hos en statlig fagetat vanskeligere å tenke seg. Det ville ha vært naturlig og nødvendig å drøfte de teknologiske, økonomiske, sikkerhetsmessige, forskningsmessige, fagpolitiske og generelle politiske spørsmål (forholdet til nasjonale og internasjonale interesser) og nabolandenes standpunkter, med relevante departementer, andre fagmiljøer og kolleger i meteorologi nasjonalt og internasjonalt.

Selv om Fjørtoft var Norges faste representant (PR) ved WMO, så er WMO mellomstatlig og UD har instruksjonsmyndighet i saker med politiske overtoner slik som her. Det er oppsiktsvekkende at Fjørtoft avviste COST70-forslaget med WMO-WWW som begrunnelse uten at dette ble drøftet med Utenriksdepartementet hverken da eller tilsynelatende siden. Norsk politikkutøvelse via FNs organer er tross alt et tema som er av nasjonalpolitisk interesse og bør ikke avgjøres av direktøren i en fagetat. Men tvert om så vil Fjørtoft ha seg frabedt at «faglige vurderinger fra instituttet blir omprøvet av tjenestemenn i UD», se brevet fra Fjørtoft til Enevald Skadsem 30. oktober 1972:²⁰

... det refereres til notat av 23. juli 1971 av tidligere byråsjef Erik Lykke. Det sies om notatet at det imøtegår de hovedinnvendinger som har vært reist mot norsk deltagelse i prosjekt 70. Jeg går ut fra at det her tenkes på instituttets omfattende uttalelse. Det er en ny erfaring for instituttet at dets faglige vurderinger blir omprøvet ved tjenestemenn i Utenriksdepartementet. Jeg går ut fra at notatet er vedlagt sakens dokumenter og må uttrykke forbauselse over at instituttet ikke for lengst er blitt gjort kjent med innholdet i det 15 måneder gamle notatet.

I svarbrev til Fjørtoft fra Skadsem datert 3. november 1972 på departementets brevpapir, men merket «Personlig», sier han:²¹

20 MET-ECMWF-Erik Lykke_om_Fjørtofts analyse_301072-notat fra Fjørtoft til KUD_basert på 1971-1972.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

21 Ibid.

Jeg vil kanskje ikke tolke inn i Lykkes notat om omprøving av faglige vurderinger som er foretatt ved Instituttet. En bør vel se på det som en ytring som mer er diktert av utenrikspolitiske synspunkter. Men dette kan Du jo vurdere selv.

I Erik Lykkes notat datert «UD, 4. Handelspolitiske kontor, 23. juli 1971 om EF-teknisk/naturvitenskapelig samarbeid. Europeisk meteorologisk regnesenter» heter det:²²

Direktør Fjørtoft ved Norges Meteorologiske Institutt har i et notat til Kirke- og Undervisningsdepartementet, med gjenpart til ekspedisjonssjef Gøthe og undertegnede, gått i mot norsk deltakelse i dette samarbeid – særlig under henvisning til at regnesenteret vil kunne representere en duplisering i forhold til datasentraler som er planlagt opprettet i Moskva og Washington.

Norge synes i øyeblikket å være alene om dette standpunkt. Det må antas at også øvrige land ikke ville være interessert i å satse på en utbygging hvis tilsvarende data kan skaffes fra andre kilder.

Direktør Fjørtofts annen hovedinnvending er at han har inntrykk av at prosjektet først og fremst er inspirert av et ønske om å hevde seg i forhold til Sovjet og USA. Det forekommer meg imidlertid å være mindre sannsynlig at de meteorologiske institusjoner i land som f.eks. Sverige og Sveits skulle la seg lede av irrasjonelle europeiske «storhetsdrømmer».

Skadsem har nok rett i det han fremhever for Fjørtoft om Lykkes notat. Fjørtoft gjør egentlig ikke faglige vurderinger, han gjør fagpolitiske vurderinger med elementer av internasjonal politikk som ikke var spesifikke for meteorologi. Han gikk ut over sitt mandat. Skadsem kunne ha alarmert sin departementsråd om situasjonen, men hadde en svekket utgangsposisjon ved at DNMI ikke hadde fått Lykkes 15 måneder gamle notat tidligere. Og det kan tenkes Skadsem hadde sympati for Fjørtofts stilling.

Erik Lykke hadde trolig rett når han toner ned betydningen og relevansen av Fjørtofts innvendinger i notatet til KUD, likeledes har nok Lykke som byråsjef i UD formelt sett fullmakt til å handle slik hvis han var delegert

22 Ibid.

saksansvar ovenfra i departementet. Det er også rart at ikke UD bragte inn sikkerhetspolitiske synspunkter og betydningen av COST-invitasjonen for Norges forhold til Europa, det meste av COST70-drøftingene foregikk tross alt før Norges EF-nei 24.–25. september 1972. Fjørtoft må etter vår mening ha tråkket godt over streken med sitt notat til Skadsem 30. oktober 1972.

De norske fagmiljøenes holdning til hhv. COST70 og COST61a (som en del av Nordforsk-OECD-samarbeidet om langtransport av svovel) var svært ulik, selv om begge i sterk grad berørte internasjonalt meteorologisk samarbeid. Nordforsk-samarbeidet involverte academia, anvendte forskningsinstitutter og forvaltningen/policy makers, det var hyppige konsultasjoner og de ulike aspektene ved saksfeltet ble tatt hånd om slik at den samlede faglige og politiske fremrykkingen ble sterk, kunnskapsbasert og inkluderende. Sur-nedbør-feltet involverte nye problemstillinger og nye institusjoner, mens COST70 involverte en tradisjonell norsk virksomhet i en institusjon som nettopp hadde passert 100 år (DNMI). Men dette er neppe tilstrekkelig til å forklare forskjellene i agering.

Det er grunn til å hevde at de store kulturforskjellene var mer personlig grunnet enn forårsaket av fagenes alder eller innretning. Et argument for å hevde dette er situasjonen i Sverige, der professor Bert Bolin og hans student Henning Rodhe var engasjert i Nordforsk-samarbeidet om sur nedbør. Bolin var elev av Carl Gustav Rossby, som i sin tid hadde oppholdt seg en periode hos Vilhelm Bjerknes. Og lederen for «working party» for COST70-gjennomføringen var generaldirektør Alf Nyberg ved SMHI, mens hans avdelingssjef Lennart Bengtsson deltok som ekspert. Alf Nyberg (1911–1993) var statsmeteorolog fra 1945, avla doktorgraden i Uppsala i 1946 med avhandlingen «Synoptic-aerological investigation of the weather conditions in Europe 17–24 April 1939», og hadde et års opphold 1946–47 hos Carl Gustaf Rossby, som da var professor i Chicago. Alf Nyberg var WMOs president fra 1963 til 1971 og ledet altså WMO da WWW ble gjennomført. Han var president for Regional Association VI (Europa) i WMO 1956–1963, og innvalgt medlem av Kungliga Vetenskapsakademien fra 1972. Som nevnt over var han også ordfører for ledelsesgruppen for Nordforsk-OECD-prosjektet om sur nedbør, og han var også ordfører for GARP-planleggingskomiteen i regi av WMO og ICSU.

Det er rimelig å anta at Alf Nyberg tok på seg ledervervet i COST70 fordi han mente det sammenfalt med hans oppgaver som WMO-president,

som er et omfattende og betydningsfullt tillitsverv, og som generaldirektør for SMHI. Som ansvarlig leder av WMO var han med på opprettelsen av World Weather Watch, og hans innsikter vunnet i den forbindelse var førstehånds og pålitelige.

I Meteorologisk institutts arkiv er det kopi²³ av en rapport som Alf Nyberg skrev til sin overordnede myndighet i Sverige etter et møte i Brussel 25. august 1971 i «EEC. Arbetsgrupp meteorologisk dator» og signert av ham i Stockholm like etter hjemkomst, 27. august 1971. Rapporten er skrevet på en standardblankett med tittel «Rapport om deltagende i internasjonell møte», og blanketten har en rekke rubrikker med faste overskrifter: «Ämne, äv. namn på organisation och/eller grupp; övrigt svenskt och nordiskt deltagande i mötet; tongivane deltagare vid möte; antal deltagande länder och personer; odf. vid mötet; forslag inför och under mötet; beslut och rekommendationer vid mötet; forslag til vidare åtgärder; allmennt intryck.» I den siste rubrikken skriver Nyberg:

Projektet är realistiskt och utredningen är väl genomförd. Enigheten härom var stor. Den ekonomiska studien var mycket grundig. Den hade utförts av ekonomer med meteorologiskt bistand och visade på en god relation mellan kostnaden och vinsten. Från meteorologiskt håll är det otvivelaktigt ett starkt stöd för projektet. För Sveriges vidkommande är detta ända möjlighet att få resurser för en väl kvalificerad medellång prognostjänst.

Nyberg sendte trolig rapporten i kopi til Fjørtoft. Den var neppe kjent for KUD. Men Nybergs vurderinger ville ha vært meget relevante for KUD og for UD om Fjørtoft hadde bragt dem videre. Det er imidlertid ingen henvisninger til Nyberg noe sted i Fjørtofts arkiverte drøftinger av Prosjekt70. Det kunne ha vært nærliggende å tro at Norge og Sverige hadde stått seg på et samlet standpunkt i Prosjekt70-spørsmålet, og at Fjørtoft og Norges interesser ville ha vunnet på samordning med Sverige og SMHI. Det er kritikkverdigg at Fjørtoft ikke problematiserte denne situasjonen i noen av sine skriv til Kirke- og undervisningsdepartementet om COST70.

23 MET-ECMWF-referat nasjonalt koordineringsutvalg 200971.pdf i MET-ECMWF-medlemskaparkiv.

Alf Nyberg og Ragnar Fjørtoft var de to eneste søkerne til et professorat i meteorologi ved universitetet i København i 1949, og der Fjørtoft ble vurdert først fordi han hadde arbeidet i mer teoretisk, dynamisk retning enn Nyberg, og fikk stillingen.²⁴

Det er påfallende at Fjørtoft i sine uttalelser og utredninger til departementet ikke gjør rede for andre lands vurderinger eller standpunkt, heller ikke Sveriges. Men som vi skal se senere, så rapporterer han ved noen anledninger at danske og britiske delegater forteller ham at de er skeptiske til medlemskap selv om dette ikke er landenes offisielle standpunkt. Fjørtoft må ha vært svært sikker og urokkelig i sin sak, ikke minst tatt i betraktning av Alf Nybergs fremskutte internasjonale posisjoner og dermed innsikt. Det er rart at ikke Fjørtoft noe sted formidler at det svenske standpunktet i internasjonale meteorologisaker slik som forberedelsen av ECMWF, faktisk hadde en uvanlig sterk forankring gjennom Alf Nybergs innsikter. Dette var opplysninger som hadde vært relevante og viktige for norske myndigheter. Men det ser ikke ut til at DNMI formidlet dette.

Lennart Bengtsson var avdelingssjef ved SMHI tidlig på 1970-tallet og var med Alf Nyberg på møter om opprettelsen av ECMWF. Bengtsson var forskningssjef ved ECMWF i årene 1975–1981 og deretter direktør fram til 1990, da han ble direktør for Max Planck-instituttet for meteorologi i Hamburg. Han gir følgende kommentar²⁵ om hva han tror var utslagsgivende for Ragnar Fjørtoft i hans og DNMI's standpunkt og råd til norske myndigheter om ECMWF-medlemskap:

Ragnar Fjørtoft var vetenskaplig intresserad i Centret men föredrog så vitt jag kunde förstå att Norge inte var direkt involverad till att börja med. Med sin bakgrund tyckte han kanske inte att vi var tillräckligt kvalificerade samt att risken var stor att Centret inte skulle leva upp till förväntningarna. En uppfattning som han säkert delade med John Mason²⁶. Mason tillade dock senare att det var tack vare de engelska forskarna vid Centret som ECMWF lyckades.

24 Kristiansen, T.Aa. (2017). *Meteorologi på reise. Veivalg og impulser i Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtofts forskerkarrierer*. (Doktorgradsavhandling). Universitetet i Bergen, s. 228.

25 E-post til Øystein Hov 11.10.2021.

26 Sir John Mason var generaldirektør for UK Meteorological Office 1965–1983.

Det er ikke tegn i DNMI's arkiv til at Fjørtoft åpnet for en drøfting av svaret av 31. desember 1969 med noen, heller ikke innad på DNMI eller med kolleger ved UiO eller ledelsen i andre, beslektede fagetater som NVE eller FFI eller underhånden med departementet. Den korte svarfristen i KUDs brev av 15. desember 1969 («innen utgangen av året») kan ha bidratt til at Fjørtoft ikke drøftet saken med andre, men det er ikke tegn til at Fjørtoft var usikker på sitt standpunkt, hverken i 1969 eller senere i hans direktørtid fram til høsten 1978.

Uten å vite sikkert var vårt inntrykk fra studietiden på Institutt for geofysikk (IfG) fra 1972 at Fjørtoft som var professor II, ikke hadde nære drøftinger med kollegene ved Institutt for geofysikk, bortsett kanskje fra Arnt Eliassen, som Fjørtoft hadde hatt adskillig med å gjøre fra studietiden og framover. Fjørtoft kunne komme til IfG på kollokvier eller når det var utenlandsk besøk som han ville treffe, for eksempel Richard Lindzen. Harald Schyberg, som er forsker ved Meteorologisk institutt og som var hovedfagsstudent ved Institutt for geofysikk ved UiO på 1980-tallet, forteller at «jeg husker Fjørtoft fra studietiden på IfG på 80-tallet, da han hadde kontor der som emeritus, og han var svært pratsom på værkart-kollokviene. Jeg husker ham som en som kommuniserte mye, men det gikk kanskje mye én vei. Jeg hadde Kaare Pedersen som hovedfagsveileder, og han kunne vært helt utslitt hvis jeg eller andre kom til ham for veiledning etter at Fjørtoft hadde vært inne på kontoret hans for å diskutere. Jeg husker også at mye av det Fjørtoft snakket om på værkollokviene, var vanskelig å forstå. Ser at Aass Kristiansen (2017) beskriver at Fjørtofts arbeider og resonnementer ofte var vanskelig tilgjengelige og mangelfullt forklart overfor andre. Selv om mye ble ansett genialt. Kan dette trekket ha ligget bak at han bare konsulterte/diskuterte med noen få?»²⁷

Det var et kompetent nasjonalt kontaktnett knyttet til vurderingen av norske standpunkter til COST-samarbeidet.²⁸ For eksempel er Odd Dahl og Ragnar Fjørtoft hhv. CMI's (Chr. Michelsens Institutt for Videnskap og Åndsfrihet, eller bare Chr. Michelsens Institutt) og DNMI's medlemmer av

27 E-post til Øystein Hov 29. august 2022.

28 Listen over dette kontaktnettet datert 12.12.1970 signert Erik Lykke, som var byråsjef i UD og parafert av Christian Sibbern – i MET-ECMWF-COST_representanter i N og S pr des 1970 notat fra Lykke i UD-121270.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

arbeidsgruppene for meteorologi og oseanografi. Det er enkelte brev i arkivet mellom Fjørtoft og Dahl, men bare av ekspedisjonskarakter, for eksempel spør Odd Dahl Fjørtoft om det er greit at Ivar Aanderaa²⁹ trekkes inn i vurderingsarbeidet i COST43, noe Fjørtoft svarer med en setning at det synes han er fint. Men vi vet jo ikke om det var telefonisk kontakt f.eks. mellom Odd Dahl og Fjørtoft.

UDs involvering og oppnevning av nasjonale kontaktpersoner viser en ambisjon og tilretteleggings- og koordineringsvilje på norsk faglig toppnivå vis-à-vis COST-samarbeidet. Dette tyder på at UD la vekt på mulighetene som avtegnet seg både av faglig art i de ulike sektorer og på betydningen disse planene for teknisk samarbeid kunne få for Norge politisk i en fase der medlemskap i EF var ønsket i regjeringen. Fjørtofts/DNMIIs kategoriske standpunkttagen gikk på tvers av disse mulighetene. I møtereferater der det i noen grad gjengis hva enkeltpersoner uttalte, er det ikke tvil eller åpne spørsmål som kan invitere til alternative vurderinger som preger Fjørtofts agering.

4.7 Hva karakteriserer WMOs funksjonsmåte?

Hvordan fungerer og fungerte WMO? Sentrale elementer i WMO-samarbeidet var – og er – forsiktighet i informasjonsutveksling mellom de sikkerhetspolitiske blokkene, hovedvekt på fattige lands behov for kompetanse og tjenesteutvikling («nobody should be left behind»), arbeid med å standardisere internasjonal utveksling av observasjoner og tjenester (numeriske prognoser) til alle land, forskning innenfor temaer som alle, og ikke minst utviklingslandene, vil tjene på og som kan føre til risikoreduksjon både nasjonalt, regionalt og globalt. WMO oppfordret – og oppfordrer – videre til at landene som er kommet lengst i utvikling i værvarsling, legger til rette for at deres kunnskap og tjenesteerfaring får global utbredelse gjennom WMO med de forbehold som er tatt over (sikkerhetspolitikk, i noen grad konkurransehensyn), bare slik kunne WMOs globale tjenestebidrag øke i bredde og kvalitet. Vår erfaring i WMO er ikke at organisasjonen hadde til hensikt å være en monopolist på internasjonal koordinering, tvert om, nasjonale og

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

regionale nyvinninger ble ønsket velkommen og forsterket alles tjenesteytende evne. WMO leder ikke an i retning av avansert tjenesteytelse fordi det i sin natur vil ha anvendelse bare i enkelte høyt utviklede land. WMO leder an i formalisering av det globale systemet for innhenting og deling av essensiell informasjon i værvarsling og for klimaanalyser og i utviklingen av det faglige grunnlaget for dette arbeidet. Det er vanskelig å lese en slik forståelse av WMO ut av Fjørtofts notater til KUD eller av Arnt Eliassens brev av 6. februar 1980 til KUD (se under) som også legger overraskende stor vekt på WMO-samarbeidets betydning for Norge.³⁰

4.8 Gjennomføring av COST-prosjektene fra 1970 og utover

Det var åpenbart en politisk styrt aktivitet i UD og fagdepartementene, med ambassaden i Brussel som informasjonsgiver i en del tilfeller, fra starten av 1970 og utover mht. COST-prosjektene. Fjørtoft var med på en god del møter både i UD, KUD og i Brussel, og han skaffet seg førstehånds innsikt i posisjoner og analyser. Erik Lykke var byråsjef i UD og var viktig i dialogen mellom norske fagmiljøer og de ulike COST-prosjektene fremdrift, ikke minst gjaldt det COST70. Som nevnt over er det tegn til at han hadde en mer bevisst vurdering av bredden i problemstillingene knyttet til norsk deltagelse og bidrag til COST-prosjektene enn det som DNMI og Fjørtoft ga til kjenne, og han forsøkte å tone ned betydningen av Fjørtofts innvendinger, uten at dette førte til en bredere drøfting eller analyse fra DNMI's side.

Arbeidsgruppene for hver av de teknisk-vitenskapelige samarbeidsprosjektene ble koordinert fra UD (Erik Lykke og Bjørn Skogmo) og utenriksministeren (Svenn Stray). I et brev av 4. september 1970 til Mr H Leussink, President of the Council of the European Economic Communities, ble det forsikret om Norges interesse i temaene som hadde blitt valgt og ønske om å delta «in the various studies proposed by the Working Parties». Dette ble distribuert til Gøthe (UD), Skadsem (KUD), Major (NTNF), Vogt (Industri-

30 MET-ECMWF-brev fra Arne G og Arnt E 060280 til KUD om norsk ECMWF-medlemskap.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

forbundet), Hovedkomiteen for norsk forskning, Odd Dahl (CMI), Fjørtoft, Knudtzon (Televerkets forskningsinstitutt), Mellbye (Helsedirektoratet), Sandnæs (Akergruppen), Wintermark (Det norske veritas).

4.9 Framdrift i forberedelsen av det europeiske regnesentret for mellomlange værvarsler (1970)

Ambassaden i Brussel sendte «Report by the Working Party on a European Meteorological Computing Centre to the Ministers responsible for technology, Brussels 26 May 1970» til Gøthe, Skadsem, Major, Fjørtoft til orientering 26. juni 1970.³¹

Denne rapporten viser at skjelettet for ECMWF tar form. Også Fjørtofts synspunkter om å koordinere med WMO og GARP er med. I august 1970 (20. august, se referansen i avsnittet foran) er det et kort brev fra Fjørtoft til KUD der han sier seg enig i at Norge bekrefter sin interesse for en utredning om et europeisk regnesenter slik det fremkommer i Working Party-dokumenter fra tidligere på året.

4.10 Redegjørelse fra Fjørtoft til Enevald Skadsem 7. juli 1971

7. juli 1971 skrev Fjørtoft en lang redegjørelse til Enevald Skadsem (f. 1919) som altså var ekspedisjonssjef i KUD.³² Brevet er ikke journalført, det er tilføyd på forsiden med blyant «Tilhører direktørens arkiv, forværelset 1. etg».

Denne analysen er et nøkkeldokument som DNMI holdt fast på utover i forhandlingene, og som resulterte i at Norge ikke tiltrådte ECMWF-konvensjonen i 1973.

31 Se MET-ECMWF-UD-DNMI_WP_report_230470_210570_melding fra Fjørtoft til UD om COST70_interesse_200870.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

32 Se MET-ECMWF-COST70_Fjørtofts_redegjørelse til E Skadsem KUD 070671.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Analysen inneholder først «Generelle forutsetninger for og karakteristik av det internasjonale meteorologiske samarbeid» og beskriver det globale meteorologiske samarbeid både i det operasjonelle og i forskning. Fjørtoft problematiserer ikke forholdene, tvert om kan det sies at han skjønner der han sier at FN-samarbeidet legger til rette for at et land kan benytte seg av værprognosene fra et annet, og at det «i meteorologien er nærmest utenkelig at positive forskningsresultater oppnådd i ett land ikke meget snart vil finne praktisk anvendelse i andre land som har den nødvendige kapasitet for dette».

Derneft beskrives «Utviklingstendenser i det internasjonale meteorologiske samarbeid» der han sier at forutsetningene for fremskritt avhenger av «Tilstrekkelig vitenskapelig innsikt i de atmosfæriske prosesser», «Tilstrekkelig observasjonsdekning» og «Tilstrekkelig beregningskapasitet». Han fastslår at «Med de gigant-regnemaskiner som nå planlegges produsert i U.S.A. må det antas at den operasjonelle meteorologis behov for regnemaskinkapasitet langt på vei vil ha funnet sin løsning.»

En kommentar over 50 år senere er at her legger Fjørtoft for dagen manglende forståelse for at økt regnekraft i neste omgang vil åpne for ny innsikt, ny forskning, nye behov og nye muligheter, som ikke tidligere har vært tenkt på når modellene måtte være rudimentære mht. fysikk og prosessbeskrivelse pga. liten regnekraft. Det samme gjelder når vi får nye observasjonssystemer. Synspunktene her henger fast i forestillingen om at modellene stort sett ville være som de hadde vært: Mye storskala dynamikk, men lite eksplisitt fysikk, og at de numeriske prognosene kun ville være et tillegg til de subjektive analysene og prognosene som meteorologene utarbeidet varsler på bakgrunn av. Slik var det både ved DNMI og andre værtjenester i Norden mer eller mindre helt fram til rundt år 2000, dog med en overgang til mye mer direkte værinformasjon fra modellene fra slutten av 1980-tallet.

Størst vekt legger Fjørtoft på det som skal til for å gi en betydelig bedre observasjonsdekning i atmosfæren. «Det er alminnelig antatt at når de prognoser som i dag lages ved hjelp av elektroniske regnemaskiner blir nærmest ubrukbare etter 4–5 dager, er hovedårsaken til dette ikke manglende vitenskapelig innsikt eller beregningskapasitet, men ufullstendig kjennskap til atmosfærens utgangstilstand.» Det er her de langt største finansielle ressurser må settes inn. «Disse vil neppe kunne fremskaffes uten ved en koordinert innsats hvorunder det siktes mot å unngå

bruk av betydelige midler som i internasjonal sammenheng er unødvendige.»

En kommentar her er at dette er riktig. Dette er et tiår før satellittalderen og to tiår før satellittdata ble assimilert i prognosene. Kostnadene for innhenting og bruk av satellittdata er enorme om vi sammenligner med kostnadene for det nettverket vi hadde da Fjørtoft formulerte sine synspunkter. Men Fjørtoft underslår at modellenes formulering også bidrar med feil og usikkerheter i prognosene, og at beregningskapasitet er en avgjørende faktor for modellenes romlige oppløsning og nøyaktighet. Kanskje Fjørtoft ikke var seg bevisst den delen av NWP som går på parameterisering: At prosesser som modellen ikke kan oppløse, som turbulens og konveksjon, må tilnærmes med empirisk baserte, unøyaktige ledd i ligningene for deres effekt på den større skalaen som modellen kan oppløse? Denne usikkerheten i fysikken gir et hovedbidrag til modellfeilene, og blir større dess grovere oppløsning modellene har. Dette feltet av NWP var enda ganske nytt på denne tiden. Fjørtoft var nok klar over at pådriv fra orografi (landskapsformer) påvirker været, og at økt horisontal oppløsning i modellene ga anledning til å beskrive orografien mer nøyaktig, og det kunne gi forbedringer i resultatene.

Deretter drøfter Fjørtoft spesifikt WWW og GARP (World Weather Watch og Global Atmospheric Research Programme) i regi av hhv. WMO og WMO/ICSU. Fjørtoft hevder kategorisk at det er «all grunn til å tro at dette arbeid i de kommende år vil gi det viktigste bidrag til forskingen på dette feltet».

Deretter er det en drøfting av forslaget om europeisk meteorologisk regnesenter, som deles i tre: Anskaffelse av gigant-regnemaskin for operasjonell beregning av værprognoser for 4–10 dagers varsel, forskning som bidrag til å utvikle metoder for slike varsler, og tilgang for medlemslandene til å benytte deler av regnemaskinen for nasjonale formål.

Fjørtoft gjentar her sitt synspunkt at senteret ikke må duplisere de prognoser som vil komme fra World Meteorological Centers under WWW i WMO. Han sier videre at DNMI «i år fremover vil ha tilstrekkelig regnemaskinkapasitet for lokale meteorologiske problemer og forskning». Fjørtoft konkluderer at «Etter instituttets mening er det derfor uomtvistelig at de planlagte operasjonelle varsler ved sentret vil bli en duplisering av tilsvarende varsler som er planlagt å kunne fås fra World Meteorological Center, Washington».

Fjørtoft polemiserer mot argumentasjonen i referatet fra Working Party-møte 15. februar 1971 «som instituttet ikke kan sees å ha fått innkallelse til» og der han sier «i samme rapport heter det på side 5 at det er World Center, Moskva som skal ha ansvaret for ‘medium range’ varsler for Europa. Dette er sikkert velegnet til å gjøre inntrykk på vest-europeiske politikere, men er absolutt uten enhver forankring i de foreliggende planer». Han drøfter «instituttets stilling til prosjektet» og sier «instituttet vil fraråde at Norge inntil videre deltar i det planlagte EMCC»³³, og begrunner dette i syv punkter: Duplisering av WMOs vedtatte planer, feil bruk av økonomiske midler som heller må gå til bedret observasjonsdekning, «de amerikanske varsler opptil 72 timer er i dag de desidert beste i verden», kapasitetsproblemer i overføring av observasjonsmaterialet når nok et senter skal dekkes, «uttelling av store pengesummer til prosjekter som i et koordinert internasjonalt samarbeid ikke er nødvendige bidrar til å minske internasjonal meteorologis prestisje», Norges økonomiske forpliktelse ville innebære en altfor stor nasjonal pengebruk til databehandling, og oppbygging av en stor forskergruppe ved et europeisk beregningssenter ville konkurrere om en knapphetsressurs (gode forskere). Og Fjørtoft avslutter med noen generelle betraktninger der han bl.a. sier at «Den faglige diskusjon på møtene har vært lite uttømmende» (...) «Således er det underhånden opplyst at Det Danske Meteorologiske Institutt hadde fått instruks om å gå positivt inn for prosjektet til tross for en viss skepsis i danske meteorologiske kretser. Fra engelsk faglig hold har det vært betydelig skepsis til prosjektet.» (...)

Men fremfor alt er det mitt inntrykk, selv om dette ikke er sagt offisielt, at drivkraften bak prosjektet først og fremst er politisk og prestisjemessig, idet Vest-Europa har vanskelig for å godta at World Meteorological Centers er lagt til U.S.A og Sovjet.

(Følg brevet er signert av Fjørtoft, ikke parafert og ikke journalført).

Fjørtofts argumentasjon mot ECMWF holder seg til oppgaver og ressurstilgang på kort sikt uten å gå inn på om det i det hele er teoretisk tenkbart med 10-dagers varsler innen overskuelig framtid, og hvilke krav det ville

33 European Meteorological Computing Centre (EMCC)

stille til initialtilstandsbestemmelsen. På kort sikt har Fjørtoft rett i at bedre observasjonsdekning vil gi bedre prognoser. Det er imidlertid ingen refleksjon over hva en kompetent og målrettet forskningsgruppe samlet kan oppnå av nyvinninger. Muligheten for forskningsmessige gjennombrudd berøres ikke, som for eksempel dataassimilasjon for å gi en bedre utgangsanalyse, eller ensembleberegninger der prognoser fra to sentre som er uavhengige av hverandre, ville gi mer informasjon enn å basere seg på én prognose alene. Fjørtoft hadde kjennskap til metoder og muligheter innen dataassimilasjon, det var et område som folk rundt ham hadde arbeidet med, se f.eks. historikken i seksjon 6 i Lewis og Lakshmivarahan (2008)³⁴ der også et bidrag fra Fjørtoft nevnes. Ideer om ensembleberegninger var lite utviklet på denne tiden.

Fjørtoft nevner ikke den kalde krigen, som om den ikke eksisterer, selv om DNMI også står for Norges militære værvarsling. I WMOs system skulle langtidsvarslingen for Europa dekkes av WMC Moskva. Det er lett å forstå at mange vesteuropeiske land ikke fant dette tilfredsstillende, og ville sikre seg at Europa hadde tilgang på slike prognoser selv.

Sovjetunionen fikk en langsom start på IT-området (mye på grunn av den rådende ideologien, -informasjonsteknologien ga mennesket for liten plass og passet derfor ikke inn i den dialektiske materialismen) og i 1971/72 var de et godt stykke bak. Store regnemaskiner var ikke deres styrke. De vestlige land, ledet av USA, hadde COCOM-komiteen som bestemte hva slags IT-utstyr som kunne eksporteres til landene i Warszawa-pakten. Dessuten var det vanskelig å skape et levende og kraftfullt internasjonalt forskermiljø i Moskva, gitt den politiske situasjonen. NATO hadde også sin METCON-strategi, som gikk ut på at i krig eller krise skulle værvarslene forbeholdes de allierte styrkene og regjeringene i NATO-landene. Så hva World Meteorological Center (WMC) Moskva ville gjøre i en krise, kunne man ikke være sikker på. Men Norge ville jo alltid ha tilgang til prognosene fra Regional Meteorological Center (RMC) Bracknell og fra Washington. I tillegg var alle WMC og RMC helt avhengig av bevilgninger over de nasjonale budsjettene. En ordentlig satsing på et WMC var ikke garantert.

34 <https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/136/9/2008mwr2400.1.xml>

Fjørtofts observasjoner fra forhandlingene – «Således er det underhånden opplyst at Danmarks Meteorologiske Institutt hadde fått instruks om å gå positivt inn for prosjektet til tross for en viss skepsis i danske meteorologiske kretser. Fra engelsk faglig hold har det vært betydelig skepsis til prosjektet» – kan tolkes i flere retninger. Vanligvis ved internasjonale forhandlinger utveksles uformelle synspunkter for å klargjøre en sak i pauser og i korridorene. Dette kan gi fortløp i å bygge enighet rundt møtebordet. Men hvis en part i utgangspunktet har signalisert et tydelig og avvikende standpunkt fra flertallet og står fast på det, så vil korridorutvekslinger med denne parten ha med dette som en forutsetning – forståelsen av et felles mål er ikke lenger til stede. Fjørtoft var kanskje ikke oppmerksom på dette. Også det som «fremfor alt er» Fjørtofts inntrykk, «selv om dette ikke er sagt offisielt, at drivkraften bak prosjektet først og fremst er politisk og prestisjemessig» knapt kan sies å ligge innenfor hans kompetanse og mandat. Dette svekker hans utsagnskraft også på områder som er innenfor hans mandat og kompetanse. Men det ser ut til at det bare er byråsjef Erik Lykke i UD som sier dette uttrykkelig.³⁵

4.11 Standhaftighet i DNMI's opprinnelige standpunkt. Ekspedisjonssjef Enevald Skadsems rolle

Fjørtoft holdt på sitt standpunkt fra 31. desember 1969 og analysen fra sommeren 1971 i hele sin direktørperiode. Ingen av de senere direktører gjorde så langt det er mulig å bedømme fra arkivmaterialet, gode forsøk på å etablere en egen argumentasjon eller myndighetsdialog basert på en bredere analyse enn Fjørtofts av hva som stod på spill. Det ble med et avsnitt her og et der mest i forbindelse med innsendelse av budsjettforslag, med «budsjett-prioriteringer» som hovedbegrunnelse for Norges nei til ECMWF-konvensjonen i 1973, og misfornøyde brev til KUD når budsjettforslagene år etter år

35 Erik Lykke (f. 1928) ble ekspedisjonssjef i MD fra departementets opprettelse i 1972 og var sentral i utviklingen av nasjonal og internasjonal sur-nedbør-politikk. Han hadde blant annet vært sekretær for Trygve Lie og Halvard Lange, og han hadde vært utstasjonert ved ambassadene i Ottawa og London og i den norske NATO-delegasjonen før han ble byråsjef i UD.

var en skuffelse på dette punkt. Det er overraskende at hverken Langlo eller Grammeltvedt i sine direktørperioder (hhv. 1978–1983 og 1983–1999) la vekt på at de ikke delte analysen til Fjørtoft mange år tidligere, og at deres syn innebar en diskontinuitet i DNMI's standpunkt til ECMWF i perioden 1969–1978. De kunne også ha gått utenfor DNMI og mobilisert det norske meteorologimiljøet. I stedet presenterte de ufullstendige forklaringer på hvorfor det nå var så viktig med ECMWF-medlemskap, og de skrev kritiske brev til KUD når bevilgningstilsagn uteble. Meteorologisk institutt var seg selv nok. Det var ikke naturlig for Langlo eller Grammeltvedt å mobilisere det norske meteorologimiljøet.

Ekspedisjonssjef Enevald Skadsem i KUD hadde trolig en stor respekt for Fjørtofts analyser, bl.a. på bakgrunn av Fjørtofts grundige skriv som ble sendt KUD 7. juli 1971. Det er holdepunkter for at Skadsem ble en nøkkel til Norges langvarige nei til ECMWF. Skadsem behandlet også budsjettforslagene fra Langlo og Grammeltvedt. Han gikk av som ekspedisjonssjef 67 år gammel i 1986 da Arve Kjelberg tok over. Kjelberg var bare noen få år yngre (1928–2016)³⁶ og gikk av som ekspedisjonssjef i 1993.

Vi har ikke funnet dokumenter om ECMWF fra perioden 1969–1975 fra Arnt Eliassen. Fjørtofts skriftlige ytringer viser aldri til andres synspunkter enn hans egne. Også i møter i Working Party og i nasjonal koordinering ser det ut til at han er meningssterk selv om analysen han presenterer, er bemerkelsesverdig smal og den endrer seg ikke med tiden (WMO-spoet, observasjoner må prioriteres og DNMI «har nok regnemaskinkapasitet for flere år»). Hvis han ved et tilfelle ikke repeterer DNMI's hovedsynspunkt om at ECMWF ikke kan prioriteres og sier at han kan anbefale deltagelse i forberedende arbeid, så dukker hovedsynspunktet opp igjen senere og uten forbehold.³⁷

36 <https://www.aftenposten.no/nekrolog/i/pBWKX/nekrolog-arve-kjelberg>

37 Se for eksempel Fjørtofts brev av 20.8.1970 MET-ECMWF-UD-DNMI_WP_report_230470_210570_melding fra Fjørtoft til UD om COST70_interesse_200870.pdf, og MET-ECMWF-brev fra Fjørtoft til KUD om COST70_standpunkt-161072.pdf eller MET-ECMWF-brev fra Fjørtoft-KUD om regnesenteret-150971.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

4.12 Noen glimt fra det forberedende arbeidet med ECMWF-konvensjonen

Hans Økland 1918–2010, forsker ved DNMI 1954–1977, universitetslektor og senere professor ved Institutt for geofysikk UiO fra 1977, deltok på vegne av Fjørtoft på et koordineringsmøte i UD 22. juli 1971. Andre deltagere var Gøthe, Austveg (begge Industridepartementet), Lykke (UD), Skadsem (KUD), Kvifte (NLH), Holberg (FFI), overlege Mellbye, osv.³⁸

Skadsem, som hadde ordet etter meg, sa at han ikke hadde så mye å tilføye til det jeg hadde sagt, men understreket at Fjørtoft var en internasjonalt anerkjent ekspert på dette fagområde, og at det derfor var all grunn til å legge vekt på hans vurdering.

Økland fremhevet Fjørtofts synspunkter om ikke å dublere WWW i WMO, Fjørtofts beregninger av omkostningene for DNMI, og at instituttets EDB-investeringer vil bli uhensiktsmessig store med medlemskap i værserveret.

Lykke sa at han hadde undersøkt den danske innstilling hos de danske diplomatene, og hadde fått vite at der i Danmark var full faglig oppslutning om regnesenteret.

Fjørtoft skrev et notat til KUD 15. september 1971 med kopi til ekspedisjonssjef Odd Gøthe, Industridepartementet.³⁹ Det er en del moderert sammenlignet med skrivet av 7. juli i 1971:

En arbeidsgruppe med representanter for 19 europeiske land ble på sitt siste møte enige om foreløbige planer for regnesenteret. Norge var ikke representert på dette møtet. På tidligere møter hadde noen land, blant dem Storbritannia, gitt uttrykk for en viss reservasjon. For Storbritannias del var dette antagelig en følge av de store nasjonale investeringene i elektronisk regneutstyr.

38 MET-ECMWF-Økland på koordineringsmøte i UD 220771.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

39 MET-ECMWF-brev fra Fjørtoft-KUD om regnesenteret-150971.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Med den sterke oppslutning prosjektet synes å ha fått har Instituttet fått inntrykk av at det av politiske grunner er vanskelig å holde seg utenfor. Instituttet vil i så tilfelle tilrå at norsk deltagelse i driftsfasen bør gjøres avhengig av at den rutinemessige bruk av regneanlegget ikke fører til en dublering av produkter som ellers er tilgjengelige gjennom WMO's kanaler.

Ved eventuell utforming av avtalen går vi ut fra at en ikke ubetinget kan binde seg til utgiftene ved en operasjonell drift før det er vitenskapelig godtgjort at værvarsler fra 4–10 dagers gyldighet av tilstrekkelig godhet lar seg beregne.

Utenriksdepartementet kalte inn til møter i «Det norske samarbeidsutvalg» (Erik Lykke/Sigmund Høstmælingen). Koordineringsutvalget bestod av overlege Fr Mellbye, Helsedirektoratet, professor G Kvifte, NLH, direktør N Vogt, Industriforbundet, professor Anders Omholt, Norges Industriforbund, forskningssjef K Holberg, FFI, Fjortoft, siving E Skoug, DNV, ingeniør K Hagen, Kongsberg Våpenfabrikk, cand.real. I Hatling, NVE, instituttsjef Kjell Baalsrud, NIVA, direktør H P Sperstad, NVE, direktør Robert Major, NTNf.

Fjortoft deltok bl.a. på koordineringsutvalgets møte i Industridepartementet 20. september 1971⁴⁰ og sa at DNMI tilrår at man ved en eventuell norsk deltagelse i Det meteorologiske regnesenteret tar det forbehold å kunne revurdere videre deltagelse etter den innledende fase på 3–5 år med beskjedne utgifter. Han mente at «argumenteringen fra Brussel var meget formalistisk» og at det ikke måtte være noen duplisering i forhold til WMO i en operativ fase. Vi måtte ikke binde oss til store utgifter uten å vite at resultatene kommer, og vi har en mengde oppgaver hjemme på det meteorologiske felt som må løses, slik at DNMI prioriterer deltagelse i Det europeiske vær-senteret lavt. «Det må tas forbehold om fruktbarheten av Det europeiske regnesenteret.»

40 MET-ECMWF-referat nasjonalt koordineringsutvalg 200971.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Ikke uventet ble det en omfattende lokaliseringdiskusjon for Det europeiske regnsenteret. Fjørtoft sendte 18. november 1971 et brev til KUD der han sier at Bracknell er et godt valg, både på grunn av ekspertisen som allerede er i nærheten (UK Meteorological Office), og fordi England antyder at de ikke vil delta om ikke senteret plasseres i landet. I et brev datert 13. november 1971 til «The secretary General du Conseil des Communautés Européennes» sier Fjørtoft på forespørsel fra Ad Hoc working party on European Medium-Term Weather Forecasting Center at senteret bør lokaliseres i nærheten av et «Regional Meteorological Centre in WWW which should also be acting as a Regional Telecommunication Hub on the Main Trunc Circuit», og i nærheten av eksisterende brede aktiviteter innen værvarsling og generell sirkulasjon. Danskene var skuffet over at Norge ikke støttet det danske tilbudet om å legge senteret til Hørsholm.

Hans Økland møtte av og til for Fjørtoft i det nasjonale koordineringsutvalget, og i Brussel i COST70 Working Party eller i senior officials-komiteen som samordnet arbeidet med alle de aktuelle COST-prosjektene. Økland skrev korte referater som ligger i arkivet, de fleste nokså svake på substans og med henvisning til Fjørtofts synspunkter, en gang klaget han over at han kunne ha trengt bistand i møtet fordi det var mest om juridiske forhold, og ingen fra ambassaden i Brussel stilte. KUD/UD dekket reiseregningene.

Det er ikke tegn til at Fjørtoft hadde konsultasjoner nasjonalt om sine synspunkter. De viktigste dokumentene, for eksempel 7. juli 1971-utredningen, er signert av bare ham og gikk heller ikke inn i arkivet, kopi var i direktørens arkiv. Om Fjørtoft drøftet sine synspunkter med Arnt Eliassen så er det ikke spor etter det. I Langlos periode kom uttalelsene fra professor Arne Grammeltvedt ved UiB og Arnt Eliassen datert 6. februar 1980.⁴¹

Det er lov å undre seg over Fjørtofts syn på forskning: «Vi måtte ikke binde oss til store utgifter uten å vite at resultatene kommer.» Det lå i sakens natur at det var risiko knyttet til å nå målsettingene for Det europeiske vær-senteret. Det måtte forskning til for å finne ut av mulighetene.

41 MET-ECMWF-brev fra Arne G og Arnt E 060280 til KUD om norsk ECMWF-medlemskap.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

4.13 Konvensjonsteksten slutføres

Konvensjonsteksten avsluttes høsten 1972, og det utarbeides et regjeringsnotat. I den forbindelse sendes et brev fra Fjørtoft til byråsjef Ståhlbrand i KUD (3. Vitenskapskontor) 16. oktober 1972⁴²

Ad Cost Project 70. Instituttet har gitt en omfattende uttalelse om ovennevnte prosjekt i brev av 7.7.1971 til KUD. Vi viser også til vårt notat av 15.9.1971. Vi kan ikke finne at det siden disse uttalelser ble gitt er kommet frem forhold som kan endre vårt standpunkt på noe avgjørende punkt. R. Fjørtoft.

Det var møte i koordinasjonskomiteen (senior officials) for COST i Brussel 12.–13. september 1972 der Fjørtoft deltok, sammen med underdirektør Odd Austveg i Industridepartementet og konsulent Per A. Tollefsen i UD.⁴³ Fjørtoft opptrådte uavhengig av andres syn på behovet for ECMWF. UD var besnæret av tanken om et europeisk værcenter og ivret for det, men kunne ikke gå særlig langt siden fagmyndigheten og dets moderdepartement ikke støttet dette syn. Det er merkelig at ikke UD i større grad undersøkte de sikkerhetspolitiske aspektene og sammenhengen med relasjonen til EF. COST70 var det største av de «norske» COST-samarbeidene, og det hadde, til forskjell fra de andre COST-aktivitetene, ambisjon om å etablere et fysisk senter, det var det arbeidet gikk ut på – teknisk spesifikasjon, økonomi og lokalisering, og balansen mellom operasjonalitet og forskning. Det var i liten grad en «global» analyse av situasjonen for langtidsvarsling, hvilke flaskehalser som eksisterte. Var det først og fremst et spørsmål om å bedre grunnlaget for initialanalysene (observasjoner) eller var det et spørsmål om regnekraft, eller var det et spørsmål om forståelse av fysiske og dynamiske prosesser, eller var det en kombinasjon av de tre? Det var heller ingen analyse av «omgivelsene», dvs. hva ble allerede tenkt og gjort i Washington, UKMO, Japan,

42 Se MET-ECMWF-brev fra Fjørtoft til KUD om COST70_standpunkt-161072.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

43 MET-ECMWF-referat senior officials meeting Brussel 12-130972 om COST.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Moskva osv, og hva var allerede «i orden» gjennom WMO-samarbeidet som Fjørtoft argumenterte så sterkt for? Samarbeid med WMO kom etter hvert i diskusjonene i 1971–1972 med som en av oppgavene for Det europeiske værsenteret, dette var nok et resultat av bl.a. Fjørtofts intervensjoner.

I en note 6. november 1973 fra den norske ambassadøren til EF W.G. Solberg til Secretary-General N. Hommel of the Council of the European Communities avslås tilbudet om observatørstatus i «Interim Committee for the European Centre for Medium Range Weather Forecast»:

In this connection I would like to refer to the statement made by the Norwegian representative in the Senior Officials' Committee on 28 November 1972, in which it was explained that for budgetary reasons Norway was not able to participate in Project 70. It was, however, also stated that if conditions should change, the Norwegian Government might reconsider its position.

At the present time no decision has been taken by the Norwegian authorities with regard to the possibility of signing the Convention establishing ECMWF at a later date. For this reason the Norwegian Government has not been able to accept the invitation to participate as observer in the Interim Committee.

Vi er nå inne i perioden etter det første norske EF-nei, og Korvald-regjeringen hadde akkurat veket for Bratteli II-regjeringen etter stortingsvalget høsten 1973. I Korvald-regjeringen var Anton Skulberg kirke- og undervisningsminister (Sp) og Dagfinn Vårvik utenriksminister (Sp). I Bratteli II var Bjartmar Gjerde kirke- og undervisningsminister og Knut Frydenlund utenriksminister.

4.14 Departementet ville ha meteorologenes vurdering av Norges stilling i det internasjonale samarbeidet

2. april 1975 arrangerte DNMI et møte på oppdrag fra KUD om «Norges stilling i det internasjonale meteorologiske samarbeidet». Innkallingsbrevet datert 18. mars 1975 var signert av Per M. Breistein i egenskap av fungerende

direktør og Lillian Svendsen som var internasjonal koordinator ved DNMI, og det het der at

KUD har bedt Meteorologisk institutt i samråd med Universitetene i Oslo og Bergen om å gi en oversikt over Norges deltagelse i det internasjonale meteorologiske samarbeide, og utarbeide prioriterte forslag til deltakelse i framtidige samarbeidsprosjekter. Oversikten skal dekke både operasjonell meteorologi og forskning.

Møtet ble ledet av Fjørtoft, og invitasjonen gikk til Breistein, Schumacher, Odd Haug, Nordø, Økland, Kolderup Jensen, A. Strandli, alle DNMI, i tillegg til professorene Eigil Hesstvedt og Arnt Eliassen (UiO) og Kaare Utaaker (UiB). Referat fra DNMI til KUD 11. april 1975 er signert Per M. Breistein «fung. direktør» og parafert av Nils Jørgen Schumacher.⁴⁴

En tilfredsstillende global observasjonsdekning utgjør videre den største utfordring for internasjonalt meteorologisk samarbeid i årene fremover. Det er fordi store hull i observasjonsdekningen fremdeles består over de åpne verdenshav. Tilstrekkelig stabile ordninger for observasjoner herfra kan bare oppnåes ved faste avtaler mellom grupper av land, uansett observasjonsteknologi. Slike avtaler er det ennå alt for få av. Det er også i noen grad mangelfull observasjonsdekning i visse land og først og fremst i utviklingslandene. For å rette på dette vil det være nødvendig i alle fall i de nærmeste årene, å yte økonomisk hjelp.

Basert på diskusjonen mener vi at det er særlig viktig at Norge øker sin innsats for å skaffe en global observasjonsdekning og øker innsatsen for de internasjonale forskningsprogrammer konkretisert som a) utsettelse av meteorologiske bøyer på de åpne verdenshav, b) øking av observasjoner fra norske handelsskip i internasjonalt farvann (med henvisning til forslag fra norsk komité for GARP) og c) hjelp til opprettelse av observasjonsstasjoner i utviklingsland.

44 MET-ECMWF-konferanse om Norges stilling internasjonal meteorologi april 1975.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

En har også vurdert norsk tilslutning til Det europeiske regnesenter for værvarsler med 4–10 dagers gyldighetstid, og deler de betenkeligheter som tidligere er fremkommet fra Meteorologisk institutt ved at det er lagt en fast og omfattende økonomisk plan for igangsetting av slike varsler på rutinebasis etter en periode på fem år, før en vet om en har den tilstrekkelige observasjonsdekning og før en vet om det vil finnes brukbare metoder for slike varsler. På den annen side kan en ikke utelukke muligheten for at sentret allikevel på sikt vil kunne utvikles mer rasjonelt enn det konvensjonen for sentret med tilhørende dokumenter synes å gi uttrykk for, herunder en rasjonell tilpassing til det system av EDB-sentrer som er forutsatt i WMO-planene. Da dessuten forpliktende internasjonalt samarbeid er helt nødvendig for bl.a. å løse det globale observasjonsproblemet, og da sentret er et av de få forpliktende internasjonale samarbeid i meteorologien kan en håpe på at det vil få en viss positiv betydning for inngåelse av avtaler på andre for tiden viktigere områder i meteorologien. En har derfor funnet å kunne anbefale norsk tilslutning til dette sentret, dog slik at forslagene om norsk deltaking i GARP og andre internasjonale observasjonsprogrammer bør prioriteres foran.

Om det blir bestemt at Norge skal tilsluttes regnesentret, bør dette helst ikke utsettes for at vi kan være med på å utøve innflytelse på utformingen av sentret. For å øke muligheten for dette vil det være gunstig om en eventuell norsk tilslutning blir ledsaget av kommentarer som gir uttrykk for håp om at sentret kan utvikle seg i den retning norske fagmyndigheter ønsker.

Først vil man ikke være med. Så vil man være med med prioritet etter GARP og andre WMO-aktiviteter, men vil straks ha innflytelse over utformingen av senteret. Et senter som var «helt unødvendig». Perspektivet er ikke oppmuntrende.

Etter en diskusjon om at Norge bør støtte WMO VAP (Voluntary Assistance Programme) med NORAD-midler, med henvisning for eksempel til at det i 1973–1974 ble kjøpt sambandsutstyr til Algerie for 8 mill. kr, anbefales fortsatt støtte for eksempel til GARP via VAP-mekanismen.

Som kjent er Norge ikke medlem av det europeiske samarbeidsprogrammet for værsatellitter. Programmet er nå kommet langt i sin utvikling, og det er sannsynlig at Norge ved forhandlinger kan oppnå medlemskap for vesentlig lavere utgifter enn det som tidligere ble forlangt ... Allikevel anbefales ikke norsk medlemskap, i det en mener at våre begrensede ressurser bør konsentreres om de andre foreslåtte prosjekter, som gis høyere prioritet.

Det er imidlertid mulig at det på et senere tidspunkt kan bli spørsmål om spesielle samarbeidsavtaler til dekning av stormaktenes utgifter til værsatellitter. Spørsmålet må da vurderes på nytt ...

Det er verd å merke seg at værsatellittene har vært meget viktige i å skaffe nye typer meteorologiske observasjoner. Observasjonene fra værsatellittene har en god del av æren for at prognosene fra ECMWF har nådd det nivået de har i dag. Norge vil heller ikke være med i værsatellittsamarbeidet på dette tidspunktet. Norge hadde førende forskere på atmosfærens dynamikk, men støttet ikke prosjektene som vi nå vet har betydd mye for den økte kvaliteten av værvarslingen flere døgn frem i tid.

Referatet fra DNMI til KUD 11. april 1975 fortsetter:

Den norske regjering har i forbindelse med sikkerhetskonferansen fremmet forslag om et europeisk overvåkingsprogram for luftforurensninger. Miljøverndepartementet har fulgt opp saken i FN's økonomiske kommisjon for Europa. Programmet har mange fellestrekk med det pågående OECD-program «Long range transport of air pollutants».

Den meteorologiske betydning av prosjektet COST 43 er ennå uklar. Inntil en avklaring har funnet sted, har en ikke villet føre opp konkrete beløp for prosjektet.

Fjørtoft hadde invitert til det nasjonale møtet 2.–3. april 1975 på DNMI, der Arnt Eliassen, Eigil Hesstvedt og Kaare Utaaker deltok i tillegg til DNMI-representantene (referatet sier ikke hvem som deltok fra DNMI). Møtet varte bare én dag, selv om det i invitasjonen var åpning for at det kunne gå over to dager. Det var ikke ofte møter av denne karakter, og referatet

tyder ikke på at de hadde så mye å snakke om. Formuleringene som brukes, er gjennomgående DNMI-spesifikke, ingen innlegg eller særstandpunkter refereres. Det nevnes ikke om det var presentasjoner av faglige aktiviteter eller planer, eller drøftinger av felles interesser i en nasjonal eller internasjonal sammenheng. Det var neppe særlig fortrolighet mellom dem. Hesstvedts engasjement i atmosfærekjemi, hans deltagelse i ozonkommisjonen under IUGG (The International Union of Geodesy and Geophysics), eller i IAMAP (International Association of Meteorology and Atmospheric Physics), eller prosjektene han hadde med luftfartsmyndighetene i USA om overlydflys påvirkning på ozonlaget, eller Ivar Isaksens virksomhet (Ivar Isaksen var universitetsstipendiat og oppholdt seg i USA på den tiden hos Paul Crutzen i Boulder), nevnes ikke, selv om departementet hadde bedt om en «oversikt over Norges deltagelse i det internasjonale meteorologiske samarbeide, og utarbeide prioriterte forslag til deltakelse i framtidige samarbeidsprosjekter».

NILUs lokalmeteorologiske forskning på den tiden var knyttet til spredning av forurensninger fra smelteverk som Høyanger og Årdal, Norsk Hydro på Herøya, og forurensning særlig vinterstid i norske byer, og med meteorologiforskere som Bjarne Sivertsen, Knut Grønскеi, Yngvar Gotaas, Einar Joranger og Leif Otto Hagen. Dette nevnes ikke i referatet.

Jack Nordø sto på invitasjonslisten, og det kan være at han rapporterte om Nordforsk-OECD-prosjektet om langtransport av sur nedbør der han var involvert, for rapporten sier mot slutten at

Den norske regjering har i forbindelse med sikkerhetskonferansen fremmet forslag om et europeisk overvåkingsprogram for luftforurensninger. Miljøverndepartementet har fulgt opp saken i FN's økonomiske kommisjon for Europa. Programmet har mange fellestrekk med det pågående OECD-program «Long Range Transport of Air Pollutants». De oppførte beløp til EDB er antatt verdi av tjenester til prosjektet som ytes av Meteorologisk institutts EDB-anlegg. Forøvrig ledes prosjektet av Norsk Institutt for Luftforskning, som håper å få en del av beløpene dekket gjennom internasjonale avtaler (post 14).

Eigil Hesstvedt (1920–1979) utviklet modeller for stratosfæreozon på den tiden og hadde såvidt begynt å interessere seg for troposfæreozon, men han kjente ikke nevneverdig til Nordforsk-OECD-prosjektet om sur nedbør. Hesstvedt og Ottar kjente hverandre knapt, og vi er usikre på om de noen gang møttes. Heller ikke Ivar Isaksen (1937–2016) kjente Brynjulf Ottar på den tiden.⁴⁵

I et vedlegg til referatet er det spesifisert et årlig budsjett 1976–1979 for de ulike aktivitetene som foreslås, oppsummert til mellom 5 og 10 mill. kr per år, avhengig av store instrumentutlegg (bl.a. til GARP). Under posten luftforurensninger er angitt 1,5 mill. kr/a til «luftforurensninger», fordelt med kr 800 000 til målinger, kr 300 000 til EDB og kr 400 000 til forskere. Dette er knyttet til Nordforsk-OECD-prosjektet. Det er også en post som heter «Europeisk regnesenter» der beløpene øker fra kr 210 000 i 1976 til kr 857 000 i 1979. Store poster ellers er til værskapet og til GARP.⁴⁶

Nordforsk-OECD-prosjektet om kartlegging av langtransport av sur nedbør er ikke omtalt i rapporten fra møtet på en måte som viser at det ble ansett å ha særlig relevans for det internasjonale meteorologiske samarbeidet Norge var med i eller planla å delta i, selv om meteorologi var et sentralt basisfag i dette arbeidet. Forskerne Anton Eliassen og Jørgen Saltbones var først ansatt på NILU og deretter ved DNMI og arbeidet med dette. Jack Nordø og Oddvar Jensen deltok også fra DNMI. Fjertofts svenske kollega Alf Nyberg var ordfører i ledergruppen for Nordforsk-OECD-prosjektet, og DNMI's første forsker Jack Nordø hadde en ledende rolle. Likevel er det ikke tegn i møterefateratet fra DNMI's ledelse til at det ble forstått at dette var en ny mulighet i meteorologisk forskning og samfunnsnytte, og det til tross for at omfanget av sur nedbør og andre langtransporterte luftforurensninger til Norge var på vei oppover til sine høyeste nivåer i denne tiden, og utgjorde et

45 Første møte dem imellom var i 1977 foranlediget av at Brynjulf Ottar var medlem av Editorial Board i Atmospheric Environment. Møtet var på instituttsjef Ottars kontor i et ominnredet industribygg i Elvegata på Volla i Lillestrøm dit NILU flyttet i 1976. Før det holdt NILU til i etter hvert åtte ulike brakker og bygg på Institutt for Atomenergi (Institutt for Energiteknikk fra 1980) på Kjeller. Det var langt fra Blindern til Kjeller, og omvendt. Møtet på DNMI 2. april 1975 bærer preg av det. Øystein Hov og Ivar Isaksen trengte hjelp i forbindelse med den redaksjonelle behandlingen av en artikkel som de hadde sendt til Atmospheric Environment for publisering.

46 MET-ECMWF-konferanse om Norges stilling internasjonal meteorologi april 1975.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

betydelig folkehelse- og naturskadeproblem, selv om dette fortsatt var dårlig kartlagt. Det er også verdt å merke seg at MISU var aktivt involvert særlig i første del av Nordforsk-OECD-prosjektet gjennom professor Bert Bolin, Henning Rodhe som ble professor ved MISU i 1980, Lennart Granat og Christer Persson.

Grunnen til at Anton Eliassen og Jørgen Saltbones ble flyttet fra NILU til DNMI var at EMEP ble startet, og russerne (EMEP/MSC-E var plassert i Moskva) kunne bare samarbeide gjennom FN-organisasjoner som WMO og UNECE. Anton Eliassen og Jørgen Saltbones hadde neppe blitt flyttet til DNMI hvis ikke russerne hadde stilt dette krav. Modellering av luftforurensninger var et fremmedelement ved DNMI. Problemstillingen var i utgangspunktet triviell, adveksjon av forurensninger i et gitt hastighetsfelt.

I Nordforsk-rapporten «Årsakene til nedbørens forurensning»⁴⁷ beskrives (s. 11) hvordan Jack Nordø anbefalte spredningsmodell med gridruter på 100–150 km for å kartlegge spredningen av svovel i lufta. Jack Nordø var også konsulent for Expert Planning Group i OECD for prosjektet, ledet av Gøran Persson fra Naturvårdsverket i Sverige (fra 1970). Det ble satt ned undergrupper: Bakkeobservasjoner ble ledet av Cyrill Brosset, som var sjef for Institut för vatten og luftvårdsfågor (IVL), flymålingsgruppen ble ledet av Lennart Granat fra MISU (universitetet i Stockholm), og Jack Nordø ledet gruppen for databehandlingsmetoder der bl.a. Hans S. Buch fra Danmarks meteorologiske institut (DMI), Lennart Bengtsson fra Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) og Gøran Nordlund fra Finnish Meteorological Institute (FMI), var medlemmer.

Nordforsk-OECD-arbeidet hadde allerede oppnådd internasjonal anerkjennelse og status, bl.a. gjennom ekspertmøtet som ble avholdt i Gausdal i 1973 der de fremste forskerne på feltet deltok, og der J.R. Mahoney fra USA og Doug Whelpdale fra Canada var med som tekniske referenter og rådgivere. Det ble holdt omkring 20 foredrag, bl.a. la Jack Nordø, Anton Eliassen, Oddvar Jensen og Jørgen Saltbones fram beskrivelsen av atmosfæriske spredningsmodeller og med eksempler på anvendelser.⁴⁸ Andre meteo-

47 Ottar, B. (1975). *Årsakene til nedbørens forurensning, rapport fra et samnordisk forskningsprosjekt Nordforsk*, Miljøvårdssekretariatet, rapport 1975:10, 60 sider.

48 Eliassen, A. & Saltbones, J. (1973). *A One-Layer Lagrangian Model for the Description of Air Pollution Transport on a Large Scale*. Expert meeting on long range transport of air pollutants, Gausdal. Norwegian Institute for Air Research.

rologer som deltok, var Gøran Nordlund og Anne-Beate Henrikson fra FMI, Hans S. Buch, Lars Prahm, L.B. Pedersen og Ulrik Torp fra DMI, Bert Bolin, Gøran Aspling og Christer Persson fra MISU og F.B. «Barry» Smith fra UK Met Office ved Bracknell.

I Nordforsk-rapporten (1975) skriver Ottar at

NILU hadde også funnet det nødvendig å begynne å bygge opp prosjektledelsens databearbeidingsgruppe slik at den kunne komme helt inn i arbeidet i løpet av høsten 1971. Etter avtale med DNMI ble Jack Nordø engasjert fra begynnelsen av 1971 til å lede arbeidet. DNMI inntok en meget positiv stilling til prosjektet og gav Jack Nordø permisjon fra sin stilling ved DNMI. I tillegg stilte DNMI regnemaskintid til disposisjon for prosjektet i den utstrekning dette kunne skje uten å fortrenge andre viktige oppgaver.

DNMI var altså involvert i meteorologisk forskning som ikke hadde operasjonell værvarsling som mål, og instituttet leide ut forskerressurser, mens EDB-ressurser ble stilt til rådighet såfremt det var ledig tid. Men denne virksomheten var på en påtagelig måte «perifer» for instituttet, og den forble det i lang, lang tid selv om meteorologi fra 1970-tallet raskt beveget seg fra værvarslingsfokus til å være et kjernefag for en rekke samfunnsviktige anvendelser både på transportsektoren (luft- og skipsfart, vei- og banetransport), energiproduksjon, luft- og vannmiljø, landbruk, turisme og ikke minst naturskader gjennom flom, tørke og vind.

Det utviklet seg et viktig forskningsmiljø i numerisk værvarsling ved DNMI på slutten av 1970-tallet og videre framover, ledet av Sigbjørn Grønås, med Arne Bratseth, Thor Erik Nordeng, Trond Iversen, Oddvar Hellevik, Anstein Foss, Rebecca Rudsar, Magne Lystad og Knut Helge Midtbø, og med kontakter ved Institutt for geofysikk, UiO. Dette arbeidet ledet fram til NORLAM-modellen som var i operasjonell bruk som varslingsmodell fram til 1990-tallet. Trond Iversen har skrevet nærmere om dette og annen NWP-forskning knyttet til Meteorologisk institutt i en egen artikkel annetsteds i denne boken. NORLAM-arbeidet sprang ut av EMEPs behov for høyere oppløsning på meteorologiske data, og både Arne Bratseth og Thor Erik Nordeng ble finansiert over EMEP-budsjettet i en periode, likeledes bidro EMEP vesentlig til det økonomiske grunnlaget for DNMI's dataanlegg. NORLAM-arbeidet ble ikke initiert hverken av dynamikk-miljøet eller insti-

tuttets ledelse. Initiativet kom fra forskerne selv. Det var mulig fordi forskerne ikke arbeidet under noen ledelse. De kunne begynne med hva de ville. Det tok mange år før statsmeteorologene fattet interesse for dette arbeidet.

Deltagerne på møtet på DNMI 2. april 1975 var nok ikke vant til å snakke sammen eller konsultere. Avsluttet de med en felles middag? Nepppe. Det var lang avstand mellom UiO og UiB. Kaare Utaakers interesse for empirisk landbruksmeteorologi, arvet fra hans forgjenger professor Calle Godske, en av Vilhelm Bjerknes' Carnegie-assistenten, var ikke høyt verdsatt i dynamikk-miljøet i Oslo, og Eigil Hesstvedts innsats i atmosfærekjemi var ansett som en raritet. Det var ikke en samlet trekkraft i norsk meteorologi. Det var ikke noe lag, og nysgjerrigheten for hva andre drev på med og hadde som målsetting, var ikke til stede. UiB var «modellfri sone» i meteorologi med vekt på observasjoner og statistiske behandlingsmetoder. Det var gode relasjoner for eksempel mellom Yngvar Gjessing, som var amanuensis og senere professor ved Geofysisk institutt, UiB, og Bjørn Aune (leder av klimaavdelingen ved DNMI). Vervarslinga på Vestlandet holdt til i samme bygg som Geofysisk institutt, men det var lite samkvem bortsett fra på julefesten på Geofysisk institutt der varslingsmeteorologene var invitert. Selv etter at det ble felles kantine mellom Vervarslinga på Vestlandet og Geofysisk institutt i 1994, spiste folkene fra værvarslinga kl. 11 og fra Geofysisk institutt kl. 12. Hilding Sundqvist ved UiB bygget opp et NWP-miljø da han kom som professor etter Grammelvedt i 1983, samtidig som IBM finansierte og organiserte Bergen Scientific Centre med en kraftig regnemaskin som UiB delvis finansierte og kunne benytte. Sundqvist hadde flere hovedfagsstudenter som etter hvert tok doktorgraden i NWP-relaterte emner (Jón Egill Kristjánsson som Sundqvist veiledet, Erik Berge, Nils Gunnar Kvamstø og Frode Flatøy som hadde andre doktorgradsveiledere).

Verken Fjørtoft eller Arnt Eliassen var nysgjerrige på den nye kunnskapen som etter hvert vokste frem rundt Eigil Hesstvedt og Ivar Isaksen. Fjørtoft og Arnt Eliassen var ikke interessert i den nye atmosfærekjemien. De var heller ikke imponert over sprednings- og diffusjonsmiljøet som hadde FFI som basis.

Men å brøyte nytt kunnskapsland er verdifullt i seg selv: Man trenger ikke bruke avanserte matematiske metoder, det er unødvendig i begynnelsen. Man kan bruke metoder som allerede er utviklet i andre sammenhenger. Det er utilstrekkelig å bedømme slik nyskapende forskning etter hvor

avanserte metodene er matematisk. En fordel ved intuitivt enkle metoder er at politikere og forhandlere slik som i Genève i CLRTAP (Langtransportkonvensjonen for grenseoverskridende luftforurensninger under UNECE) kunne se for seg hvordan de virker. En todimensjonal lagrangesk modell som den som ble utviklet og anvendt i EMEP, var lett å gripe. Det var en fordel når det skulle bygges tillit mellom forskere og forhandlere.

Miljøet i dynamisk meteorologi på universitetet på Blindern interesserte seg lite for forskningsmiljøene som ble bygget opp på Kjeller i Skedsmo etter andre verdenskrig, først med Forsvarets forskningsinstitutt FFI i 1946, Institutt for atomenergi IFA (fra 1980 Institutt for energiteknikk) og NILU i 1969, samtidig som de nok også undervurderte disse miljøenes bidrag i meteorologisk forskning. Brynjulf Ottar hadde solide teoretiske kunnskaper i fysikalsk kjemi. I virkeligheten var FFI-IFA-NILU-miljøene av stor nasjonal betydning. Dette ble ikke forstått, eller kanskje delvis forstått og samtidig mislikt, av Blindern-meteorologene. Det var også politiske forskjeller mellom de to miljøene, der Kjeller-miljøene aktivt bistod som eksperter for landets politiske ledelse, mens Blindern-miljøet ble oppfattet som venstreorientert og systemkritisk.

I et brev fra KUD til UD (E. Skadsem, parafert av Arve Kjelberg) datert 10. mars 1976 oppsummeres DNMIIs synspunkter på internasjonalt samarbeid.⁴⁹ Dette brevet sementerer nok embetsverkets holdning til prioriteringene i internasjonal meteorologi for lang tid framover. Det heter for eksempel:

Til orientering for Utenriksdepartementet kan det nevnes at det norske bidrag i GARP-prosjektet synes å legge grunnen for en meget respekta-
bel innsats, også sammenliknet med den våre naboland finner anledning
til å gjøre. Det ble således i den generelle debatt under konferansen (dvs.
GARP-prosjekt møte 2–6.2.1975 i regi av WMO der om lag 40 land del-
tok for å videreføre planleggingen av dette samarbeidstiltak) uttalt fra både
Danmark og Sverige at med de økonomiske bidrag disse land yter overfor
ESA-prosjektet Meteosat og COST-70 prosjektet, ble det lite igjen til GARP-
prosjektet (som for Norges del hadde en ramme på 6,3 mill kr 1976–1979).

49 MET-ECMWF-brev fra KUD til UD om norsk cost70 deltagelse E Skadsem og Arve Kjelberg 100376.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Under WMO-konferansen om GARP diskuterte Fjørtoft med professor Wiin-Nielsen, direktøren for Værvarslingscenteret, om at

Værvarslingscenteret er interessert i et praktisk og uformelt samarbeid med norske meteorologer i denne fase av senterets arbeid. Det vil muligens bli sendt norske meteorologer, lønnet herfra, for å hjelpe til med for eksempel oppbygging av regnemaskinprogrammer etc. Dette kan finne sted uten at Norge har sluttet seg til avtalen.

4.15 Fjørtoft bekrefter sitt opprinnelige standpunkt fra 1969 før han går av i 1978

I brev av 1. juni 1978 spør ambassaden i Brussel UD om norsk deltagelse i COST70, har det norske standpunkt endret seg, også hensyntatt at KUD i brevet til UD (se over) 10. mars 1975 sier at de avsetter midler til COST70 i langtidsbudsjettet fra 1978?

UD skriver til KUD 29. mai 1975 og etterspør hvor saken nå står. I brev av 7. juni 1978 fra KUD (byråsjef Arve Kjelberg) spørres DNMI om hva forutsetningene for norsk deltagelse i COST70 nå er. I svarbrev av 12. juli 1978 sier M. Breistein («for direktøren»)⁵⁰ at instituttet ikke har endret sitt syn på saken. Observasjoner/GARP har førsteprioritet. «Vi vil samtidig gjøre oppmerksom på at et praktisk og formelt samarbeide er innledet med Regnesentret, i og med at en av våre forskere⁵¹ vil oppholde seg ved sentret for et år fra begynnelsen av 1979.»

KUD svarer UD 18. september 1978 at

vi vil imidlertid legge til at deltagelse forutsetter at DNMI prioriterer forslaget i sine budsjettforslag og at det deretter kan innpasses i de økonomiske rammer som blir fastsatt for meteorologiske formål. Departementet vil derfor tidligst kunne ta stilling til saken ved utarbeidelsen av statsbudsjettet for 1980

(Gunstein Uleberg Mølen, parafert av Erik Bjørlow Dye).

50 MET-ECMWF-fastholdelse av norsk COST70-standpunkt fra DNMI til KUD_UD_ambassaden i Brussel-120778.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

51 Sigbjørn Grønås

Saken er begravet. DNMI er ikke på offensiven, og KUD må bare konstatere at det er ikke vilje til å handle selv om UD har vært pådriver. Embetsverket har latt DNMI og Fjørtoft få bestemme det samlede norske synspunktet på betydningen av Det europeiske regnesenteret, og holdt seg innenfor en ramme der COST70 ble forstått som et tiltak på DNMI's område og innenfor DNMI's økonomiske ramme, uten å utfordre denne forståelsen med for eksempel å spørre hva samfunnsnyttene kunne bli av å samle europeiske forskningskrefter om et felles mål, og uten å stille spørsmål ved de sikkerhetspolitiske vanskelige sidene ved å satse på at det var trygt for DNMI og Norge å satse det meste på WMO-formidlede tjenester selv i ufredstider.

Også tidligere på året i 1978 spør ambassaden i Brussel UD (26. april 1978) om status i Project70, og ambassaden ber om å bli underrettet om hvor saken står. I brev fra UD til KUD 29. mai 1978 (Nikolai Skeie byråsjef/Knut H. Christensen konsulent) heter det at de «tør derfor be om å bli meddelt hvorvidt det tas sikte på norsk deltagelse i COST70 nå som GARP-prosjektet nærmer seg slutten». I brev fra KUD til DNMI 7. juni 1978 (Arve Kjelberg/Gunstein Uleberg Mølen) ber de «om instituttets uttalelse om hvordan forutsetningene nå er for en ev. norsk deltakelse i COST70». I svar fra DNMI til KUD 12. juli 1978⁵² vises det til

skriv til KUD 11.4.1975 og KUDs skriv til UD 10.3.1976. Det vil fremgå at instituttet kunne anbefale norsk tilslutning til det europeiske regnesenteret, dog slik at norsk deltagelse i GARP og andre internasjonale observasjonsprogrammer burde prioriteres. Instituttet har siden ikke endret syn på dette.

Da det nå er etablert en ny værskipsavtale, og hovedtyngden av GARP-programmet blir fullført i løpet av 1979, finner instituttet at tiden er inne til nærmere å vurdere planer for norsk tilslutning til COST70. Instituttet vil derfor i tilknytning til budsjettforslaget for 1980 ta opp spørsmålet, i samråd med Universitetene.

52 MET-ECMWF-fastholdelse av norsk COST70-standpunkt fra DNMI til KUD_UD_ambassaden i Brussel - i 120778.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

I denne forbindelse vil vi anmode om at Departementet foranlediger at de økonomiske sider i forbindelse med en eventuell tiltredelse blir tatt opp med styret for COST70-prosjektet i god tid før budsjettforslaget for 1980 utarbeides, dvs senest januar 1979.

Instituttet må ta det forbehold at skulle uforutsette forhold inntreffe, slik at observasjonssystemene vesentlig svekkes, vil vi fortsatt måtte vurdere en nøye prioritering av de forskjellige programmer innen det internasjonale meteorologiske samarbeidet.

Vi vil gjøre oppmerksom på at et praktisk og uformelt samarbeid er innledet med Regnesentret, i og med at en av våre forskere vil oppholde seg ved sentret for et år fra begynnelsen av 1979.

Dette brev er utarbeidet i samråd med direktør Fjørtoft.

I dette brevet oppfattes COST70 fortsatt som et prosjekt med en styringsgruppe, men ECMWF er jo etablert og har holdt på i flere år. Det ble fortsatt ikke tilkjennegitt noen tvil om at instituttet og Norge var godt forsynt med værvarsler framover, selv midt i den kalde krigen. Fjørtoft var på vei ut av direktørstillingen på dette tidspunkt. Dette brevet var ikke til hjelp for Kaare Langlo som tiltrådte rett etter. Han hadde tidligere vært visegeneralsekretær i WMO (se foto i begynnelsen av artikkelen). KUD v/ Gunstein Uleberg Møllen/Erik Bjørlow Dye svarer UD 18. september 1978 «Norsk deltagelse i COST70». Forbeholdene i DNMI's brev av 12. juli 1978 avspeiler seg i ordvalget i KUDs brev:

Vi antar i likhet med DNMI at dette er en sak for UD i samarbeid med DNMI. Vi vil imidlertid legge til at deltakelse forutsetter at DNMI prioriterer forslaget i sine budsjettforslag og at det deretter kan innpasses i de økonomiske rammer som blir fastsatt for meteorologiske formål.

4.16 Kaare Langlo tiltrer som DNMI's direktør høsten 1978

Langlo tiltrer høsten 1978 og skriver brev til KUD 19. desember 1978 «Norsk tilknytning til Det europeiske regnesentret» parafert av Per M. Breistein. Her sies det at:

Årsakene til at instituttet tidligere ikke har tilrådt at Norge skulle slutte seg til Regnesentret var av rent faglig meteorologisk karakter og et spørsmål om prioritering av oppgaver innenfor budsjettammen. Da opprettelsen av Regnesentret ble vurdert mente instituttet at det var andre viktige og nødvendige oppgaver innen internasjonal meteorologi som måtte prioriteres høyere. Dette gjaldt spesielt opprettholdelse og utbygging av de internasjonale meteorologiske observasjonssystemer. Norge engasjerte seg derfor sterkt i arbeidet for å få istand den nåværende værskipsavtale for Nord-Atlanteren (1974). Videre har Norge på samme bakgrunn ydet et betydelig bidrag til det internasjonale forskningsprosjektet GARP som har som et av sine hovedformål å eksperimentere med nye internasjonale observasjonssystemer (satellitter, automatstasjoner på land og sjø, horisontalt flytende ballonger etc.).

Nå som GARP-prosjektet i sin nåværende form nærmer seg slutten og også de norske bevilgningene til prosjektet (siste år 1979), er det aktuelt å vurdere igjen prioriteringen av Norges deltakelse i internasjonale prosjekter og dette var også forutsetningen i Kirke- og undervisningsdepartementets langtidsbudsjetter.

Det er naturlig å knytte denne sak sammen med instituttets planer om eget regneanlegg og deltakelse i andre regneanlegg (Regneanlegget Blindern-Kjeller RBK).

Samarbeidsavtalen om Instituttets deltakelse i RBK er forutsatt avsluttet ved utgangen av 1982. Det årlige tilskudd som i 1980 er anslått til 770.000 vil dermed falle bort.

Dersom Norge slutter seg til Det europeiske regnesentret vil ikke Instituttet etter 1982 ha behov for annen ekstern regnekraft.

Langlo sier i sitt brev at deltakelse i senteret vil være av stor nytte for Norge når det gjelder forbedring av varsler på lang sikt og på forskning i bruk av klimamodeller. Det vil også gi påvirkningsmuligheter på europeiske prioriteringer av observasjonssystemer, for eksempel opprettholdelse av værskippsavtalen.

Det foreslås i brevet «a) Norge slutter seg til ECMWF fra 1. januar 1980. b) At Norges tilslutning hvis mulig gjøres betinget av at de øvrige deltagende land ikke ensidig reduserer sitt bidrag til internasjonale observasjonssystemer spesielt til værskipene i Nord-Atlanteren og stasjoner på Grønland.»

Dette er et viktig brev som viser at det har vært et meningsskifte etter at Langlo ble direktør, og det har en tydelig positiv omtale av betydningen av og nytten av ECMWF-medlemskap. Samtidig bringes det inn en lite praktisk forutsetning om at andre land ikke må redusere sine bevilgninger til internasjonale observasjonssystemer. Et slikt krav vil bare vekke forargelse i de andre landene.

Men budsjettet for 1980 inneholdt ikke noen midler til ECMWF-deltagelse, og dette avstedkom et forarget brev fra Langlo til KUD datert 12. oktober 1979 der det bl.a. heter

Som instituttetsdirektør må jeg beklage at departementet har funnet det nødvendig å redusere instituttets budsjettforslag. (...)

Blant de prosjektene som er sløyfet av departementet kan nevnes forslaget om å knytte Norge til Det europeiske sentret for middels lange værvarsler i Reading, England (kr 1,55 mill). En utsettelse av den foreslåtte tilslutning til dette værvarslingssenter er etter min mening meget uheldig. Dette forslag, som er støttet av alle instituttets berørte råd og utvalg, er av stor betydning for å forbedre de tjenester instituttet gir til viktige brukere som f.eks. oljevirkosomheten i Nordsjøen. (...)

Jeg vil være takknemlig for departementets syn når det gjelder det fortsatte arbeide med Norges eventuelle fremtidige tilslutning til Det europeiske regnesenter.

(Det ser ikke ut til at det har vært uformelle konsultasjoner mellom DNMI og KUD fra budsjettforslaget ble sendt inn i desember 1978 til budsjettet ble framlagt i begynnelsen av oktober 1979.)

KUD svarer på DNMI's brev 30. oktober 1979 (E. Skadsem/Arve Kjelberg) om regnesentersaken. KUD ønsker saken ytterligere utredet, også ved sakkyndige uttalelser fra andre institusjoner; innmelding har store økonomiske konsekvenser. Departementet venter at forholdet til RBK avklares, mener at forslaget må avveies økonomisk også i forhold til instituttets eget rombehov, og de vil vite om GARP-resultatene og observasjonstjenesten generelt gir indikasjoner om hva som må prioriteres i de internasjonale værobservasjonsavtalene. Departementet inviterer til et møte. Det ble holdt 6. november 1979 (Skadsem, Sørbø, Nyborg og Møllen fra KUD, Langlo og Nordø fra DNMI). Det heter der at for Værvarslingssettret i Reading er

Den mest sannsynlige løsning å legge frem en egen melding for Stortinget om DNMI etter at styringsgruppen har avsluttet sitt arbeid. Denne melding bør inneholde en utredning både om instituttets behov for langtidsvarsler utenfra (Reading) og behovet for en forbedring av lokalvarslingen (desentralisering etc.).

I brev fra DNMI av 9. november 1979 svarer Langlo og Nordø på regjeringens budsjettforslag for 1980, og er uenig med departementet i at det trengs flere utredninger.

Betydelig forarbeide har foregått over flere år og det hadde vært rikelig tid til videre utredninger mellom desember 1978 da instituttet på ny fremmet saken og oktober 1979 da instituttet ble meddelt at dette forslaget var blitt strøket under budsjettbehandlingen.

DNMI sier også

Instituttet har vurdert de foreløbige resultater av GARP og mener at Norges negative innstilling til samarbeidet om det europeiske værvarslingssettret har meget uheldige konsekvenser for den fremtidige løsning av de internasjonale værobservasjonsavtaler. Det er meget mulig at Norges holdning vil føre til at andre land holder seg utenfor andre avtaler så som værskipavtalen. Det er bare ved en aktiv deltakelse i internasjonale samarbeidsprosjekter at Norge kan gjøre sitt syn gjeldende når det gjelder hele komplekset av internasjonale avtaler, som vil være nødvendig for å sikre

værtjenestens daglige operasjonelle behov. Dessuten vil slike avtaler være nødvendig for å sikre en fremtidig løsning av en rekke problemer som hele menneskehetens fremtid er avhengig av. Instituttet sikter da spesielt til de bidrag meteorologien kan gi til løsningen av vitale problemer innen energi- og klimaforskning.

Dette er en innsikt og en oppfatning som DNMI ikke har formidlet til KUD tidligere, mens KUD hadde forholdt seg til det synet som DNMI hadde fremholdt helt fra spørsmålet om tiltredelse til ECMWF-konvensjonen kom opp. Det hadde kanskje vært mer hensiktsmessig om DNMI hadde hatt uformelle konsultasjoner med KUD der ulike analyser hadde vært presentert, og der brevavsnittet over hadde vært et relevant bidrag. Det er neppe klokt av Langlo å legge ansvaret for konsekvensene av DNMI's standpunkter på 1970-tallet på KUD. Det virker også som om DNMI fremdeles mener at observasjoner er viktigst, og at Norge bør være med i ECMWF fordi andre land da vil være mer villige til å støtte værskipavtalen og andre observasjonsprosjekter. Det er en dårlig begrunnelse. Men det var viktig for Norge å få opprettholdt værskip i Nord-Atlanteren. Skipene ga avgjørende profil-informasjon for modellene, og som ikke kunne erstattes av bøyer, og datidens satellittdata var lite egnet til å bidra positivt i varslingen. Etter krigen var det ni værskip i Nord-Atlanteren, som ble redusert til fire i 1975. Utover 1980-tallet ble de trukket inn, med unntak av Norges «Mike». Det var først fra tidlig på 1990-tallet at satellittsonderinger fikk særlig effekt i varslene med de nye mikrobølgesensorene i kombinasjon med variasjonell dataassimilasjonsmetodikk. At værskipsnettverket er en premiss for DNMI's vurderinger, er derfor ikke urimelig.

KUD svarte på Langlos brev 30. november 1979 (signert Hans Sørbø og Per Nyborg). KUD ber DNMI presentere saken bredere enn det som ble gjort i budsjettforslaget for 1978 (brev av 19. desember 1978 fra DNMI til KUD), og det ble særlig bedt om en vurdering av hvordan deltagelse i Regnesentret kan bedre værvarslingen i Norge, i hvilken grad observasjonsgrunnlaget strekker til for slik varsling, eventuelt hvilke forbedringer som må til og hva det vil koste, driftsutgifter ved en deltagelse i Regnesentret, og ev. andre tiltak for bedring av værvarslingen f.eks. i forbindelse med lete- og boreaktivitet i Nord-Norge, som må prioriteres høyt. Departementet avslutter med å si at de vil ta opp saken til ny vurdering i forbindelse med 1981-budsjettet.

KUDs brev må sies å være en konstruktiv respons på et ganske ensidig og kritisk brev fra DNMI der DNMI gikk ganske langt i å gå fra tidligere synspunkter og indirekte kritiserte KUD for fortsatt å holde seg til DNMI's tidligere oppfatning (jf. Breisteins brev til KUD 12. juli 1978).

Allerede 19. desember 1979 svarer DNMI KUD (Langlo, parafert av Nordø).⁵³ «Norsk tilknytning til Det europeiske regnesentret (ECMWF)». Dette dokumentet fra DNMI er på linje med det som er den internasjonale oppfatningen. Det påpekes blant annet:

Prognoser for 10 døgn: Varsling utover 1,5–2 døgn vil måtte komme fra større meteorologiske sentra. I dag mottar DNMI slike prognoser over WMOs datanett fra World Meteorological Center i Washington D.C. og Regional Meteorological Center i Bracknell – 5 døgn prognoser fra USA og 3 døgn fra Bracknell.

ECMWFs operative modeller gir varsler opp til 10 døgn. «Deres modeller har større regnenøyaktighet og mer avansert behandling av fysiske effekter enn de operative modellene i USA og England. Spesielt må nevnes at regnesentrets modell er betydelig bedre enn den USA bruker til varsling utover 84 timer.» DNMI ønsket å bruke prognosene til å kjøre egne modeller for varsling av de enkelte værelementer, f.eks. vind og bølger på havet og nedbørvarsling for fastlands-Norge. Denne ambisjonen om regional NWP ved DNMI var viktig som begrunnelse for skiftet i synet på medlemskap. En egen regional NWP-modell ved DNMI forutsatte modellprognoser hver 3. time og med god romlig oppløsning for et større område, og informasjonen fra USA og England var for begrenset til å være hensiktsmessig. Den horisontale oppløsningen var for grov, tidsoppløsningen i prognosedataene var for dårlig og det var for stor tidsforsinkelse i forsendelsen. For å få randverdier til modellkjøringer holdt det ikke å få karter på papir av den typen som varslingsmeteorologene brukte, det trengtes digitale modellfelter. ECMWF kunne gi deltagerlandene den prognoseinformasjon de selv måtte ønske via

53 MET-ECMWF-faglig redegjørelse til KUD fra Langlo og Nordø 191279.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

dedikerte og kraftige datalinjer og med en tids- og romopløsning som ble bestemt av hvert medlemsland.

Numerisk værvarsling representerer den eneste vitenskapelige metode med muligheter til å forbedre værvarslingen.

Forskningen med numerisk værvarsling er internasjonal og norske meteorologer har spilt en ledende rolle, særlig i USA og i kontakt med amerikanske forskningsmiljøer. Dessverre har norsk meteorologi og spesielt vårt institutt i 70-årene mistet mye av kontakten med internasjonal meteorologi. Mens instituttet i 50 og 60-årene hadde mange forskere i USA for perioder på 1–2 år har vi i 70-årene ikke hatt en eneste. Tilknytning til ECMWF er en mulighet for norsk meteorologi igjen å delta mer aktivt i internasjonal meteorologisk forskning.

Observasjonsgrunnlagets tilstrekkelighet: Det hersker ingen tvil om at datagrunnlaget er den viktigste faktor for å bestemme modellprognosenes kvalitet. Det er stor enighet om at når en modell skal kjøres så langt som til 10 døgn, er det nødvendig å beskrive utgangsbetingelsene i tropene og på den sørlige halvkule. ... En mener at observasjonsgrunnlaget i dag er tilstrekkelig for å starte varsling opp til 10 døgn. En bedring av datagrunnlaget vil komme varslingen opp til 10 døgn til gode, og forskning på grunnlag av FGGE-data vil belyse dette nærmere.

DNMI sier at «Det hersker ingen tvil om at datagrunnlaget er den viktigste faktor for å bestemme modellprognosenes kvalitet», men dette var bare en del av bildet. Betydningen av nøyaktig bestemmelse av initialtilstanden ble vektlagt for sterkt sammenlignet med oppskala progresjon av småskala feil, som er «sommerfugleffekten». Ed Lorenz la selv stor vekt på betydningen av modellfeil, og mente at om initialtilstanden er perfekt, vil modellfeil etter kort tid – i løpet av det første døgnet pga. dominerende feil på liten skala som vokser fort – føre til at feilene blir like store som ved dagens feil ved initialbetingelsene, slik at den videre feilveksten fører til maksimalt ett døgnns gevinst av de perfekte initialbetingelsene. I DNMI's førjulsbrev til KUD i 1979 sies det videre at bedring av observasjonsgrunnlaget kan skje gjennom WMOs arbeid. Drivende bøyer, skipsobservasjoner, sonderinger fra polarbane satel-

litter, satellittinnsamling av data fra drivende bøyer og landstasjoner i øde områder, lignende innsamling fra skip i åpen sjø, det meteorologiske nett av geostasjonære og polare satellitter kan formidle et stort antall stasjoner. Også automatisk innsamling av værobservasjoner fra nyere flytyper nevnes (og kalles ASDAR).

Andre aktuelle tiltak for bedring av værvarslinga: Vi må selv ha ressurser – ekspertise og regnekraft – for å foreta kortsiktig varsling opp til 1,5–2 døgn. Den viktigste praktiske grunnen til dette er tidsfaktoren. I dag får vi prognoser fra USA ca. 10–12 timer etter observasjonstid, og resultatene fra ECMWF vil bare foreligge for perioden 3–10 døgn og over 12 timer etter observasjonstid.

For kortsiktig varsling akter vi å videreutvikle våre egne numeriske modeller⁵⁴ og ha resultatene klare senest 4 timer etter observasjonstid. Vi vil legge større vekt enn før på å omsette modellresultatene direkte til kvantitative varsler for det enkelte værelement. Dessuten akter vi å foreta oppdatering av data tettere i tiden, og å kjøre våre modeller hver 6. time mot nå hver 12. time.

Prisen for ti års alenegang mot medlemskap i ECMWF begynner å merkes. Men bildet som ble formidlet til departementet av norsk meteorologi, var kanskje mørkere enn det i realiteten var. jf. f.eks. NORLAM-utviklingen og professor Arnt Eliassen og dosent, senere professor Kaare Pedersen og deres studenters forskning ved Institutt for geofysikk, UiO. Se Trond Iversens artikkel om numerisk værvarsling. Fjortoft ga ikke departementet en balansert fremstilling av vurderingen av ECMWF-medlemskapet i ulike meteorologimiljøer, og Langlo følger opp tradisjonen med å begrense hva som meddeles til departementet. Den øverste myndighetens evne til å fatte gode beslutninger ble dermed begrenset.

Det kan være flere grunner enn ECMWF-utenforskapet til «forskningsminimumet» på 1970-tallet ved DNMI bedømt ved at ingen meteorologer hadde hatt forskningsopphold i USA i løpet av dette tiåret. Instituttet hadde siden tidlig på 1960-tallet satset stort på ny teknologi. Det var for det første

54 Her siktes det trolig til arbeidet med NORLAM som er under utvikling på den tiden.

Facit-regnemaskinen instituttet fikk kjøpe inn i 1961, den kostet ca. 2,5 mill. kr. Den tok store personressurser, både forskerne ved «Testekontoret», som var forløperen til forskningsavdelingen, og EDB-avdelingen jobbet mye med den. Det fulgte ikke flere folk med investeringen i regnemaskin, og maskinen måtte brukes. Det fantes ikke informatikkutdannelse, og det var nødvendig å bruke de personalressursene man hadde, som Jack Nordø, Odd Haug og Hans Økland.

Instituttet satset også på utplassering av drivende bøyer som observerte trykk og temperatur til havs. Posisjonen ble beregnet hver dag ved peilinger fra Rogaland og Ørland radio, senere ved hjelp av satellitteknologi. Dataoverføringen skjedde på samme måte, først via radio og senere via satellitt og med nedlesning via en antenne på taket av instituttet. Dette var resurskrevende fordi utstyret var «i sin barndom», og viktige personressurser ble brukt (Jack Nordø, Ole Bremnes, Knut Bjørheim) samtidig som det etter hvert viste seg at observasjonene fra bøyene ikke forbedret prognosene, bare de objektive havoverflateanalysene ble bedre, ikke analysen oppover i atmosfæren. Prognosen må starte med en konsistent 3-dimensjonal atmosfæretilstand, og initialiseringen ødela stort sett den nye informasjonen fra bøyene på havoverflaten før beregningene startet. Dataassimilasjonsmetoden som ble brukt, var utilstrekkelig og tilførte ikke prognosen verdi. Den teknologiske satsingen spiste opp mye av instituttets personressurser, uten at dette førte til bedre værvarsler. Verktøyene og metodene var ikke gode nok ennå.⁵⁵

Denne satsingen på ny teknologi var stor, og den kom så tidlig at det ikke resulterte i bedre værvarsler. Samtidig måtte forskerne sørge for at den nye teknologien kunne tas i bruk. Forskningen sporet på en måte av, forskerutvekslingen med andre land og ikke minst USA uteble, og heller ikke statsmeteorologene og værvarslingen fikk nok skyvkraft til tjenesteforbedringer. Dette var en vesentlig ulempe for instituttet.

55 Arbeidet med bøyene vies stor oppmerksomhet i DNMI's årsberetninger utover på 1960- og 1970-tallet.

4.17 Departementet spør Arnt Eliassen og Arne Grammeltvedt om deres syn på ECMWF-medlemskap

I to brev fra hhv. Arnt Eliassen og Arne Grammeltvedt (professor ved UiB) begge datert 6. februar 1980, ga de sin vurdering av spørsmålet fra KUD.⁵⁶

I sitt brev konkluderer Arne Grammeltvedt med at

Jeg er i dag av den oppfatning at Norge bør slutte seg til Det europeiske senter for middelslange værvarsler. Norge er i dag det eneste Vest-europeiske land som ikke er medlem av senteret. Det vil ennå ta lang tid før man vil nå det mål som man har satt seg; å utarbeide numeriske prognoser med inntil 10 dagers gyldighet. Men det er realistisk å regne med at man i løpet av noen år kan utarbeide anvendbare og nyttige prognoser for inntil en uke. Det vil ha stor betydning for planlegging av virksomheten på den norske kontinentalsokkel.

Jeg ser det som like viktig at vi gjennom en tilslutning til Det europeiske senteret får tilgang til gode analyser og 12 timers prognoser som kan danne bakgrunnsfelt for de norske analysene. Bare da kan vi forvente at våre norske, numeriske prognoser for 1 til 2 døgn kan bli forbedret, slik at vi har mulighet til å utarbeide mer detaljerte og nøyaktige værvarsler. Dette er ikke minst viktig for Nord-Norge.

En prioritering mellom en tilslutning til Det europeiske senteret og en fortsatt opprettholdelse og videre utbygging av observasjonsnettet i nord med automatiske værstasjoner er meget vanskelig å foreta. Begge deler må ha relativt høy prioritet, men det er mulig at man gjennom forhandlinger med de Vest-europeiske land kan komme fram til en rimelig fordeling av utgiftene både til å drive senteret og til å skaffe tilveie det nødvendige datagrunnlaget for senterets drift.

56 MET-ECMWF-brev fra Arne G og Arnt E 060280 til KUD om norsk ECMWF-medlemskap.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

Arnt Eliassen konkluderer i sitt brev at

ECMWF er et førsteklasses prognosesenter som vil kunne gi prognoser av en kvalitet som er på høyde med det som er mulig med de eksisterende metoder. På den annen side regner vi ikke med at ECMWF vil kunne gi prognoser for særlig lengre perioder enn andre sentre.

Som grunnlag for tradisjonell værvarsling vil antagelig de prognoser som mottas gratis fra andre prognosesentre kunne være tilfredsstillende.

Dette er en lite heldig formulering. NWP som «grunnlag for tradisjonell værvarsling» ser bort fra at modellen selv kan beregne værelementer, og at de tradisjonelle arbeidsmetodene til vakthavende meteorolog kunne og burde bli noe ganske annet. Og at modellen etter hvert ble brukt til å beregne prediktabiliteten til enhver tid, ser ikke ut til å være i hans tanker. Ed Lorenz hadde gjesteopphold ved ECMWF i 1980/81, og publiserte artikkelen «Atmospheric predictability experiments with a large numerical model»⁵⁷ om dette.

Arnt Eliassen skriver videre

Men skal man kunne løse de mange spesielle varslingsoppgaver som det i dag er behov for, og som kan ha stor betydning både økonomisk og sikkerhetsmessig, er det nødvendig å kunne bygge på spesialisert og utførlig prognoseinformasjon som bare kan fåes ved nært samarbeid med et av de store prognosesentre. Her peker et norsk medlemskap i ECMWF seg ut som den beste løsning.

ECMWF har ført til et nærmere forskningssamarbeid mellom europeiske meteorologer og har en gunstig virkning på forskningsnivået på dette område i medlemslandene. Norsk medlemskap må antas å være til fordel for norsk forskning, og derfor også for norsk værvarsling.

Det vil være uheldig om norsk medlemskap skulle føre til innskrenkning av meteorologisk observasjonstjeneste.

57 Lorenz, E.N. (1982). Atmospheric predictability experiments with a large numerical model, *Tellus*, 34(6), 505–513, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v34i6.10836>

Siden norsk tilslutning til ECMWF for en stor del begrunnes med løsning av prognoseoppgaver av direkte betydning for virksomheten på Kontinentalsokkelen, burde utgiftene forbundet med slik tilslutning ikke nødvendigvis behøve å belastes DNMI's øvrige virksomhet.

Kanskje Arnt Eliassen ikke hadde noen tro på at ECMWF ville bety en vesentlig forskjell? Lennart Bengtssons synspunkt 50 år senere synes å gjelde både Ragnar Fjørtoft og Arnt Eliassen. Det framgår ellers av innledningen i Eliassens brev at han deler Fjørtofts store tillit til WMOs evne til å formidle det som Norge trenger av langtidsvarsler. Det er verdt å merke seg at Arnt Eliassen også følte seg kompetent til å ha en mening om hvordan departementet skulle postere sine kostnader. På den tiden Eliassen skrev dette brevet, var Fjørtoft en del av staben ved Institutt for geofysikk, UiO, og var til stede omtrent daglig. Det var nok mer dialog mellom Fjørtoft og Eliassen rundt 1980 enn da Fjørtoft var direktør på DNMI.

4.18 DNMI foreslår norsk medlemskap i ECMWF

ECMWF-medlemskapet er sentralt i DNMI's budsjettforslag til Kirke- og undervisningsdepartementet. «Forslag til statsbudsjett for 1981 og de følgende år 1982–1985» fra DNMI er preget av en nokså udifferensiert landskapsanalyse. Det presenteres en liste på seks saker som «bør gies høy prioritet»: permanent tilbygg for å redusere plassmangelen ved sentralinstituttet, innlede forhandlinger med Det europeiske senter for middels lange værvarsler med sikte på snarlig avtale om Norges tilslutning, utskifting av EDB-anlegget, ny stilling som observasjonssjef, opprette stilling som personalsjef, omgjøring av enkelte stillingshjemler.

En mer nyansert «landskapsanalyse» kunne vært naturlig, der prioriteringene mer var tilordnet ulike kategorier, som f.eks. «faglige tiltak for tjenester av stor samfunnsbetydning» (ECMWF; EDB), praktiske tiltak som «er nødvendige for å realisere faglige muligheter» (plassmangel), og «organisatoriske tiltak for å få mer ut av instituttets samlede ressurser» (omorganisering og stillinger).

I budsjettforslaget året før (for 1980 og 1981–1984) ble det skrevet noe lignende:

I overensstemmelse med langtidsplanleggingen av instituttets virksomhet er det som egen sak foreslått at Norge fra 1. januar 1980 tilsluttes Det europeiske regnesenter i Reading, England. Det foreslås også at Norge bør delta i WMO's nye forskningsprogram «World Climate Programme».

Kaare Langlo (Langlo/Nordø) skriver til KUD med kopi til OED, Industri-dep og UD 22. oktober 1981 om «Norsk tilknytning til Det europeiske værvarslingssentret (ECMWF)»:

Instituttet konstaterer at tilslutning til Det europeiske værvarslingssentret heller ikke er kommet med i Regjeringens budsjettforslag for 1982. Det er alment kjent at prognosene fra dette sentret for tiden er de beste i verden, og at detaljerte varsler derfra vil gi langt bedre vindvarsler m.m. for 2–4 døgn. Disse data kan omsettes i bedre varsler for sjøgang og andre størrelser av vital betydning for kontinentalsokkel-aktiviteten, og til fiskeri- og sjøfartsvirksomhet. Likeså vil senterets beregninger gi oss grunnlag for utredning av mer presise nedbør- og temperaturvarsler for de neste 2 til 4 døgn. Kraftverkene har spesielt fremhevet nytten ved en slik utvidelse av varslingen. Den alminnelige varslingen for annen næringsvirksomhet og for det brede publikum ville naturligvis bedres i samme takt.

Det vekker for øvrig pinlig oppmerksomhet internasjonalt at Norge – som et av de land som har mest nytte av sentrets produkter – er det eneste land i Vest-Europa (unntatt Luxembourg) som står utenfor samarbeidet. Selv land som Finland og Jugoslavia tar en meget aktiv del i sentrets arbeidsoppgaver.

Problemet er at dette pinlige standpunktet var DNMI's i tiårsperioden 1969–1978.

Langlo (1913–1985) var inne i sitt siste år som direktør (1978–1983) da han skrev til departementsråd Per Haga i Kultur- og vitenskapsdepartementet 5. april 1982 og oversendte materiale om ECMWF etter konferanse med ekspedisjonssjef Skadsem. Et grunnlagsdokument om etableringen av HIRLAM (utvikling av en limited area numerical weather prediction model for nordvest-Europa) finnes i kopi av et brev fra KUD til Nordisk Råd om start

av et nordisk NWP-prosjekt 10. juni 1982.⁵⁸ Langlo skrev 25. oktober 1982 til Lennart Bengtsson, som var blitt direktør for ECMWF, med kopi til E. Skadsem i KUD:

I must admit that due to the general attitude of the Government with regard to government agencies' budgets, I am not optimistic as to the chances of joining the ECMWF in 1983. (...) With my deep regret and personal disappointment with the present situation I remain yours sincerely

I brev fra Langlo 29. oktober 1982 til underdirektør Rødsten i Kommunal- og arbeidsdepartementet heter det

Sikkerheten på kontinentalsokkelen: Tilslutning til ECMWF er en betingelse for at instituttet kan påta seg ansvaret for sin del av sikkerhetstjenesten for oljevirkosomheten på den nordlige del av kontinentalsokkelen. Det er min hensikt å legge dette spørsmål personlig frem for olje- og energiministeren fredag 5. november 1982.

Lobbyvirksomhet kunne slå til ulike sider. I brev fra Forsvarets overkommando 26. mai 1982, signert J. Bakken, oberst II, til DNMI med gjenpart til Det meteorologiske råd, heter det:

Jeg deler ikke Instituttets syn på nytten av å være medlem av Det europeiske værvarslingssentret, da dette senteret ikke vil kunne operere i krig. Forsvaret anser den nåværende ordning med amerikanske langtidsprognoser mer tjenlig alle forhold tatt i betraktning.

4.19 Forsker Sigbjørn Grønås, DNMI, skrev til statsråd Lars Roar Langslet 12. mai 1983

Forsker Sigbjørn Grønås, DNMI, skrev til stortingsrepresentant Ambjørg Sælthun og statsråd Lars Roar Langslet 12. mai 1983 om «Norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssentret, Reading, England (ECMWF)», med

58 MET-KV-HIRLAM-forslag 1982 Nordisk Råd.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

kopi til direktøren. Stortingsrepresentant Ambjørn Sælthun stilte spørsmål i spørretimen 9. februar 1983 til KUD-statsråd Lars Roar Langslet «Noreg er ikkje medlem av det europeiske vervarslingssenteret i England der 17 medlemsland samarbeider om å utvikle betre langtidvarsler. Kva kan departementet gjera for at Noreg kan bli medlem, og med det kunne få full nytte av dette vervarslingssentret?» Langslets svar i Stortinget viste mest til at det var en økonomisk prioritering at Norge ikke var blitt medlem av ECMWF.

Sigbjørn Grønås kommenterte statsrådets svar i sitt brev:

Det er ei ulukke for norsk meteorologi at Noreg som einaste land i Vesteuropa står utafør dette samarbeidet. ... Det var eit steg i rett lei at saka vart kjend hos dei folkevalgte i Stortinget, og eg er nøgd med at ho kom opp i spørjetimen. Diverre kan eg ikkje vere nøgd med svaret statsråden gav, det syner at han ikkje kjenner godt nok til kva det gjeld. Han svarar som om saka er eit reint spørsmål om økonomi og veg kostnadene mot andre tiltak innafør internasjonalt meteorologisk samarbeid. Medlemskapet gjeld meir enn pengar, det gjeld framtida for norsk meteorologisk forskning.

Denne siste setningen var kanskje ikke så velvalgt, tatt i betraktning av at Langslet var statsråd i Kåre Willoch's «spare-regjering». Det hadde vært tryggere, og mer relevant å si at medlemskontingenten var småpenger sammenlignet med hva Norge ville fått igjen av reelle verdier. I den økonomiske utredningen som lå til grunn for ECMWF-konvensjonen, het det at for hver krone i driftskostnad for ECMWF ville medlemmene vinne 25 kr i risikoreduksjon. Grønås skrev videre

Utan medlemskap vert det ikkje full meining i løyvinga på over 100 mill kr kvart år til DNMI. Eg kan ta eit døme: DNMI har fått 6 mill kr til nytt EDB-anlegg. Dette skal nyttast til varsling på kort sikt ved å køyre atmosfære-modellar i opp til to døger. Våre modellar dekkjer ein avgrensa del av den nordlege hemisfæren ... og gode randverdiar kan me no berre få frå ECMWF og utan desse vil me ikkje oppnå fullgode resultat.

Langlo og Grønås representerer begge DNMI, og de er begge medansvarlige for at DNMI har bragt seg selv og Norge inn i den sørgelige situasjonen. Det er rart at Langlo tilsynelatende gjorde ganske lite for å bygge tillitsforhold

til KUD og Enevald Skadsem. Departementet agerer i stor grad ut fra nesten 10 år med en fast oppfatning fra Fjørtoft, en oppfatning som var basert på en for smal analyse etter vår mening. Langlo, med sin internasjonale fagpolitiske erfaring, kunne ha gjort en annen analyse og latt bredden i de fagpolitiske og nasjonalpolitiske aspektene komme mer til sin rett, inkludert tydelig distansert seg fra Fjørtofts argumentasjon. I stedet uttrykte han sin skuffelse over departementet.

Men det hadde stått departementet fritt å lytte bedre til Langlos og Grammeltvedts forslag. Selv om forslagene kunne ha vært mer overbevisende formulert, så hadde de jo rett i at vi burde bli medlemmer av ECMWF. Gode værvarsler over flere døgn er mye verdt for Norge. I stedet bad departementet om prioriteringer som DNMI-direktørene ikke var i stand til å gi, og dette visste departementet kanskje allerede på forhånd.

Brukt annerledes kunne Sigbjørn Grønås' gode argument «DNMI har fått 6 mill kr til nytt EDB-anlegg. Dette skal nyttast til varsling på kort sikt ved å køyre atmosfære-modellar i opp til to døger. Våre modellar dekkjer ein avgrensa del av den nordlege hemisfæren ... og gode randverdiar kan me no berre få frå ECMWF og utan desse vil me ikkje oppnå fullgode resultat» fått større gjennomslagskraft.

4.19.1 Kaare Langlo gikk av 30. september 1983. Arne Grammeltvedt etterfulgte og skrev nye brev til Kultur- og vitenskapsdepartementet

Grammeltvedt skrev i brev av 21. desember 1984 om «Norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingscenter»:

Det er i dag stor faglig enighet om at Norge ikke lenger kan stå utenfor den meteorologiske virksomhet som Senteret driver, og at også Norge må få tilgang til de værvarslingsprodukter som Senteret utarbeider. Jeg viser i den forbindelse til de henvendelser som er sendt departementet fra Det Meteorologiske Råd, Vassdragsregulantenenes Forening og operatørselskapene i Nordsjøen gjennom Olje- og energidepartementet. Den vesentligste grunnen til at DNMI igjen tar opp spørsmålet om norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssettret er at uten å ha tilgang til de numeriske vær-analyser, prognoser og annet varslingsmateriale som Senteret utarbeider,

vil det ikke være mulig for DNMI å fylle den oppgave som er pålagt instituttet gjennom vedtektene: Å gi værvarsler som et moderne samfunn krever for å sikre liv og eiendom. Det er dessuten betydelige ressurser som kan spares gjennom en planlegging basert på nøyaktige værvarsler.

Velger myndighetene å si nei til norsk medlemskap, vil DNMI akseptere det og innrette sin virksomhet etter det. Men det vil medføre at DNMI ikke vil kunne gi de værvarsler som norsk industri og næringsvirksomhet har behov for, og som vil være tilgjengelig for tilsvarende virksomhet i andre land. Vi må da også akseptere at industri og næringsvirksomhet, spesielt de som arbeider på kontinentalsokkelen og vår kraftverksindustri som har behov for langtidvarsler, skaffer seg slike fra andre land, og at Norge tillater at andre land utarbeider varsler for norsk område.

Hvorfor sa ikke Grammeltvedt (og Langlo før ham) at argumentasjonen som Fjørtoft hadde ført på vegne av DNMI og Norge hadde vist seg å være feilslått og hadde ført DNMI og Norge inn i uføret han beskriver, og at DNMI trengte myndighetenes bistand til å snu situasjonen?

Ekspedisjonssjef Enevald Skadsem i Kultur- og vitenskapsdepartementet (E. Skadsem/Borghild Abusland) skrev 3. juli 1985 til DNMI om «Norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssentret»:

Departementet er innstilt på at det tas opp forhandlinger med ECMWF om vilkår for et evt norsk medlemskap og ber instituttet innhente nødvendig underlagsmateriale.

Departementet signaliserer at de vil føre forhandlingene med nødvendig assistanse fra DNMI og ev. UD.

Hilding Sundqvist ved UiB skrev til Kultur- og vitenskapsdepartementet 18.10.1985 «Angående ev. norsk medlemskap i ECMWF»:

Jeg vill med detta brev eftertrykligt rekommendera att man från norsk sida besluter sig för att gå in som full medlem i ECMWF. Med stöd från avdelingsrådet för meteorologisektionen vid Geofysisk institut, UiB, önsker jag vidare uttrycka ett direkt önskemål om ett sådant medlemskap.

Arne Grammeltvedt skrev til statsråd Halvard Bakke i Kultur- og vitenskapsdepartementet 17. oktober 1986 om «Norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssentret (ECMWF)»:

Herr statsråd. Det var med stor skuffelse for DNMI og den virksomhet vi driver at Regjeringen heller ikke denne gang har funnet rom i budsjettet for norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssentret (ECMWF) i Reading, England.

Grammeltvedt gjentok deretter den faglige begrunnelsen for medlemskap, og varslet at DNMI's evne til å levere konkurransedyktige langtidsvarsler ut over to dager til kontinentalsokkelvirksomheten, kraftverk, landbruk, eller annen næringsvirksomhet vil bli svekket sammenlignet med det som andre land er i stand til. Han viste også til at evnen til å følge opp reaktorulykken i Sovjet krevde transportdata ut over to dager. Grammeltvedt ba om et møte med politisk ledelse.⁵⁹

4.19.2 En ny kanal åpnes for norsk medlemskap i ECMWF via Miljøverndepartementet

Anton Eliassen ledet forskningsavdelingen ved DNMI og var EMEP-prosjektleder på slutten av 1980-tallet, og hadde gode kontakter i Miljøverndepartementet. Han skrev brev til ekspedisjonssjef Jan Thompson, MD, med «kopi til direktøren» 19. desember 1986 «Norsk medlemskap i Det europeiske værvarslingssenter»⁶⁰

Dataene som Sentret produserer er på flere måter svært viktige for forsknings- og utredningsarbeid på miljøsektoren:

a) nåværende og fremtidig ozonlagsfordeling. Henviser til samstemmig oppfatning med Ivar Isaksen om at senterdataene er den beste basis i verden for beregning av fordelingen av ozonlaget.

59 MET-ECMWF-brev fra AG til statsråd Halvard Bakke KUD om ECMWF-medlemskapet-171086.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

60 MET-ECMWF-brev fra AntonE til Jan Thompson om medlemskap-191286.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

- b) Interkontinental transport av svovel for å kaste lys over den ubehagelig store «ubestemte» komponent av svovelledfall i Norge.
- c) Prognoser for nedfall av atmosfærisk radioaktivitet, Tsjernobyl viste at radioaktivitet kan fraktes i betydelige mengder 6–8 døgn før det faller ned med nedbør.
- d) prognoser av oljedrift utover halvannet til to døgn.

«Stortinget vedtok i forbindelse med behandlingen av budsjettet for 1987 en uttalelse vedrørende Sentret.»

Det ble bedt om et møte mellom MD, Ivar Isaksen og Anton Eliassen etter nyttår for å høre om MD kan støtte norsk medlemskap i ECMWF.

Dette brevet avspeiler et betydelig tillitsforhold mellom Anton Eliassen som leder av EMEP-prosjektet ved DNMI, og MD representert ved ekspedisjonssjef Jan Thompson. Som leder av EMEP-prosjektet ved DNMI fylte Anton Eliassen rollen som forskningsbasert ekspert i policy-sammenheng i CLRTAP-arbeidet. Han hadde i over ti år fulgt forhandlingsarbeidet i Genève som ekspertrådgiver og kunne fange opp og klargjøre forskningsmessig viktige problemstillinger som kunne bidra til å bringe forhandlingene videre, som for eksempel å kvantifisere en rettferdig byrdefordeling i utslippsreduksjonene og en rettferdig fordeling av miljøforbedringene. Dette var problemstillinger som krevde forskningsmessig bearbeiding for å komme videre i forhandlingene, og bragte med seg bl.a. behovet for å bygge opp et forskningsmiljø i optimalisering – hvordan komme så nær som mulig en tilstand der bestemte krav til reduksjon i økosystembelastning var tilfredsstillt samtidig som kostnadene forbundet med det, var lavest mulig (integrated assessment-kompetanse ble utviklet ved IIASA i Laxenburg, Østerrike).⁶¹ Denne ekspertrollen har mange fellesstrekk med rollen som Roger Pielke Jr. kaller «honest broker».⁶²

61 IIASAs betydning for CLRTAP-arbeidet var begrunnelsen for at Norge ble medlem av IIASA fra tidlig på 1990-tallet, finansiert av MD (5 mill kr/a i kontingent).

62 Roger Pielke Jr. (2007). *The honest broker. Making sense of science in policy and politics.* Cambridge University Press, 188 s. An honest broker defineres ved «Engages actively with policy-makers and societal sectors to solve particular problems by developing policy alternatives over time».

Ivar Isaksen ved Institutt for geofysikk, UiO, hadde en viktig og lignende tillitsrelasjon med MD og SFT i Montrealprotokollarbeidet. De internasjonale forhandlingene om utslippsreduksjoner for å redusere omfanget av sur nedbør og ozonlagsnedbrytning hadde høy prioritet i MD utover på 1980-tallet. Rolleforståelsen og tillitsforholdet mellom ekspertene som støttet forhandlingsarbeidet og MD var utslagsgivende for MDs engasjement i ECMWF-saken. Dette kommer klart til uttrykk i brevet som MD sendte til Kultur- og vitenskapsdepartementet datert 6. februar 1987, se under.

På dette tidspunkt (19. desember 1986) hadde Ivar Isaksen fått klarlagt gjennom departementsråd Tormod Hermansen i Finansdepartementet at medlemskapsaken lå i KUD og ikke i Finansdepartementet. Tormod Hermansen og Ivar Isaksen kjente hverandre fordi de begge hadde vært gode langdistanseløpere i OSI i friidrett (5000 og 10 000 m), og dessuten var de naboer på Bakkefeltet på Kløfta. Tormod informerte Ivar om at Finansdepartementet ikke hadde noen problemer med norsk ECMWF-medlemskap, så lenge det var godt faglig begrunnet.⁶³

MD sendte et brev til KUD om ECMWF-saken. Kopi av brevet ble «sendt uten følgeskriv til Anton Eliassen fra MD internasjonalt kontor» datert 6. februar 1987. Brevet er signert av departementsråd Olaf Sætersdal og er parafert av ekspedisjonssjef Jan Thompson. Per M. Bakken var saksbehandler, han var sammen med Per Døvlø i SFT «reisende i ozonlagsforhandlinger» på vegne av MD og ledsaget ofte statsråden i slike sammenhenger.⁶⁴

Miljøverndepartementet er ved flere anledninger blitt gjort oppmerksom på at Norge ikke er tilsluttet Det Europeiske Værvarslingssenter, og at medlemskap er nødvendig for å komme videre med flere av de høyest prioriterte arbeidsoppgavene i departementet. Spesielt gjelder dette en del sentrale problemstillinger knyttet til langtransporterte luftforurensninger (sur nedbør), og muligheten for videreutvikling av modeller innen problemstillingene knyttet til nedbrytning av ozonlaget. Et tredje svært sentralt område er langtidsprognoser i tilknytning til eventuelle kjernekraftulyk-

63 Uavhengig av hverandre fikk Anton Eliassen og Øystein Hov denne informasjonen fra Ivar Isaksen.

64 MET-ECMWF-brev fra MD_Sætersdal&Co_til_KUV_060287.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

ker. Vi er kjent med at Meteorologisk institutt er i ferd med å utvikle modeller for transport, konsentrasjon og nedfall av radioaktivitet i luft og nedbør. For tiden vil disse prognosene måtte bli begrenset til maksimalt to døgn fram i tiden, en tidsperiode som er for kort til å kunne iverksette ønskelig tiltak ved en eventuell ulykke (...)

Miljøverndepartementet vil sterkt anbefale at en så snart som praktisk mulig søker om medlemskap i Det Europeiske Værvarslingssentret. Vi har forstått at fullt medlemskap av budsjettmessige grunner først kan bli aktuelt fra 1988. For ordens skyld gjør vi oppmerksom på at vi anser budsjettansvaret i denne sammenheng fullt ut å ligge hos Kultur- og vitenskapsdepartementet. (...) Selv om våre budsjettmidler for 1987 i hovedsak er fordelt, vil MD likevel vurdere muligheten av å gi et visst bidrag dersom det viser seg mulig å få i stand en samarbeidsavtale i inneværende år.

Dette er et viktig brev på høyeste embetsmannsnivå i MD til Kultur- og vitenskapsdepartementet, dvs. til departementsråd Haga. MDs brev viser en sterkere departemental involvering og forståelse for problemstillingene i miljøforskningen enn tilsvarende brev til DNMI fra KUD som i større grad er preget av å overlate det faglige og også det fagpolitiske og de politiske implikasjonene på meteorologiområdet til DNMI, og der også DNMIIs direktør tiltar seg dette ansvarsområdet.

Det er neppe tvil om at samspillet mellom MD og forskningsmiljøene på denne tiden var befordrende både for forskningen og forskningsanvendelsene og deres praktiske nytte, mens en tilsvarende relasjon manglet i meteorologi mellom DNMI og Kultur- og vitenskapsdepartementet. Gjennomgangen over viser at det er gode grunner for å hevde at DNMIIs direktører må ta sin del av ansvaret for denne situasjonen.

Det var ikke Meteorologisk institutt eller forskningsmiljøet i dynamisk meteorologi og værvarsling som presset på for at Norge skulle bli medlem av ECMWF. Det var heller ikke Finansdepartementet som holdt pengesekken lukket. Det var DNMIIs og det norske fagmiljøets synspunkter som gjorde at saken lå i Kultur- og vitenskapsdepartementet som Meteorologisk institutt og UiO sorterte under. Presset for at Norge skulle bli medlem av ECMWF kom fra sur nedbør- og ozonlagsforskningen, og hadde en nordisk dimensjon.

Grammeltvedt gjorde det han kunne for å få Norge med i ECMWF da han ble direktør (1983–1999), men han ga etter hvert opp. Ledelsen i Kultur- og vitenskapsdepartementet inkludert departementsråd Haga kjente godt til fagmiljøets synspunkter.

4.20 Litt om norsk ozonlagsforskning og forskerrollen som ekspert i internasjonale policy-forhandlinger

Midt på 1980-tallet publiserte Joe Farman og medarbeidere ved British Antarctic Survey observasjoner av dramatisk ozonreduksjon over Antarktis om våren der.⁶⁵ De kjemiske mekanismene som førte til ozonlagsnedbrytningen ble kartlagt av Paul Crutzen, Mario Molina og Sherry Rowland, som i 1995 fikk Nobelprisen i kjemi. «The Nobel Prize in Chemistry 1995 was awarded jointly to Paul J. Crutzen, Mario J. Molina and F. Sherwood Rowland for their work in atmospheric chemistry, particularly concerning the formation and decomposition of ozone.»

Nedbrytningen av ozonlaget var et internasjonalt miljøproblem også før «ozonhullet» over Antarktis ble oppdaget, og det var gode norske bidrag til ozonlagsforskningen fra professor Eigil Hesstvedt, Institutt for geofysikk, UiO (1920–1979, hadde professoratet etter Halvor Solberg) og Ivar Isaksen (1937–2017), som overtok professoratet etter Hesstvedt i 1981. Isaksen var verdensledende i den første generasjonen av forskere i atmosfærekjemi, og var en viktig bidragsyter til kunnskapsgrunnlaget for forhandlingene om Montrealprotokollen for beskyttelse av ozonlaget (1987) og til flere av rapportene fra IPCC. Ivar Isaksen og Frode Stordal (forsker ved UiO og NILU før han ble professor ved Institutt for geofag UiO 2003–2020) ga viktige bidrag til de internasjonale ozonlagsrapportene som bl.a. WMO og UNEP står bak, og som har kommet ut med få års mellomrom (1985, 1988, 1991, 1994, 1998, 2002, 2006, 2010, 2014 og 2018).

65 Farman, J.C., Gardiner, B.G. & Shanklin, J.D. (1985b). Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315, 207–210.

Farman, J.C., Silnickas, A.M., Thrush, B.A. & Murgatroyd, R.J. (1985a). Ozone photochemistry in the Antarctic stratosphere in summer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 111(470), 1013–1025.

Våren 1989 gjennomførte NASA Ames en stor feltkampanje i stratosfæren i Arktis med base på Sola ved Stavanger ved hjelp av det ombygde spionflyet ER-2 og et DC-8-fly (Arctic Airborne Stratospheric Experiment – AASE) med aktiv deltagelse av Ivar Isaksen og forskningsgruppen hans. Dette ga støtet til en lang periode med betydelig EU-finansiering av den europeiske stratosfæreozonforskningen og der de norske bidragene var store, jf. Isaksens og NILUs bidrag i flere omganger til European Stratospheric Ozone Experiments med base i Kiruna på 1990-tallet. Resultatene av disse prosjektene bidro i stor grad til å underbygge effektiviteten av Montrealprotokollen for beskyttelse av ozonlaget, og pekte på behov for ytterligere tiltak som siden er blitt gjennomført.



Figur 4.2 Fra venstre Per Døvre (SFTs Montrealprotokoll-person), miljøvernminister Sissel Rønbeck og Ivar Isaksen.

Geir Ole Braathen, som var forsker ved NILU i en årrekke fram til han begynte i forskningsavdelingen i WMO (2007–2019), har spilt en hovedrolle i den globale oppfølgingen av endringene i ozonlaget.⁶⁶ Dette er et viktig

66 Se f.eks. https://www.researchgate.net/publication/291821953_WMO_Arctic_Ozone_Bulletin_no_1_-_2016

eksempel på hvordan norsk meteorologi har bidratt forskningsmessig, politisk og kulturelt gjennom at den akselererende ozonlagsnedbrytningen på 1980-tallet ble kontrollert og etter hvert har stanset opp og blitt reversert.

Det var sterk faglig og politisk interesse for ozonlagsutviklingen på 1980-tallet, og oppdagelsen av ozonhullet over Antarktis og etter hvert også over det nordlige polområdet om våren der, ga støtet til et nordisk samarbeidsprosjekt i regi av Luftgruppens ekspertgruppe som Anton Eliassen ledet og der Øystein Hov var medlem, sammen med bl.a. Niels Heidam fra Danmarks Miljøundersøgelser ved Roskilde, Gøran Nordlund fra FMI og Pedro Oyola fra Statens Naturvårdsverk i Studsvik,⁶⁷ der formålet var å gjøre modellberegninger av utviklingen av ozonlaget historisk sett, og projeksjoner videre for ulike forutsetninger om utslipp av ozonnedbrytende kjemikalier. Dette prosjektet hadde politisk oppmerksomhet ikke minst i den norske regjeringen med miljøvernminister Sissel Rønbeck. Prosjektet ble ledet av professor Henning Rodhe ved Meteorologiska Institutionen, Stockholms universitet (MISU), som hadde studert sammen med Paul Crutzen under Bert Bolin på 1960-tallet ved MISU. Modellberegningene skulle gjøres av Ivar Isaksens forskningsgruppe i Oslo, men tilgangen på globale meteorologidata for stratosfæren fra ECMWF ble vanskelig gjort fordi Norge ikke var medlem av ECMWF-konvensjonen. Forhandlingene om Montrealprotokollen pågikk, MD-statsråd Rønbeck var i Montreal som norsk delegasjonsleder, og Ivar Isaksen ringte den norske delegasjonen fra Boulder og fortalte om datasituasjonen. Rønbeck fant seg ikke i at Norge skulle holdes utenfor. Da hun kom hjem, tok hun saken opp i Regjeringen.

Jan Torjus Thompson som var ekspedisjonssjef i MD på denne tiden, sier:⁶⁸

... fremstillingen av hennes agering [virker] meget plausibel. Hun var den typen som lot seg egge til strid når det var noe hun tente på. Omstendighetene, med avsluttende forhandlinger om Montreal-protokollen, var utvilsomt slik at hun umiddelbart forstod betydningen av norsk tilslutning til ECMWF. Og da var veien kort fra forståelse til kraftfull handling. (Jeg tenker i denne forbindelse f.eks på hennes krav, nesten på overtid, i de avslut-

67 Fikk siden en høy stilling i Chiles miljøforvaltning.

68 E-post til Øystein Hov 15.6.2021.

tende rundene om teksten i NOx-protokollen⁶⁹, om at vi måtte sørge for å få tilpasset teksten slik at Norge kunne slutte seg til 30 %-klubben, slik at ikke Sissel Rønbeck fremsto dårligere enn Birgitta Dahl⁷⁰. Det var litt av en baluba, men illustrerer litt av hennes karakter).

Dermed var departementsråd Per H. Haga i Kultur- og vitenskapsdepartementet utmanøvrert, MD gikk sterkt inn for dette, og Finansdepartementet hadde ingen merknader. Anton Eliassen informerte Grammelvedt om at Norge kanskje hadde en mulighet for å få Norge inn i ECMWF gjennom ozonforskningen, og Grammelvedt sa ja til et forsøk.

4.21 Koordinering av europeisk miljørettet atmosfæreforskning

EU-kommisjonen var engasjert politisk og faglig i ozonlagsspørsmålet, og etablerte midt på 1980-tallet en ekspertgruppe ledet av franskmannen Gerard Mégie (1946–2004). Han var president for CNRS de siste årene før han døde. Petteri Taalas, WMOs generalsekretær 2015–2023, var finsk representant. Andre medlemmer var forsker Tony Cox fra Atomic Energy Research Establishment ved Harwell, senere Reader ved University of Cambridge, UK, Jean Pierre Pommereau fra CNRS i Paris, Paul Simon som var direktør for Institut Royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique. Ivar Isaksen og Øystein Hov var norske medlemmer. Gruppen møttes to ganger i året i Brussel og hadde i praksis stor innflytelse på organiseringen og forskningsprioriteringene i EU-kommisjonen i de første rammeprogrammene. EU ble en viktig kraft for utforskningen av ozonlaget og ikke minst av prosessene som styrer nedbrytningen over de nordlige polområdene om våren der.⁷¹

I 1988 besluttet EU å opprette en koordineringsenhet for europeisk stratosfæreozonforskning ved British Antarctic Survey i Cambridge. John A.

69 En av protokollene under Langtransportkonvensjonen for luftforurensninger CLRTAP.

70 Den svenske miljø- og energiministeren (i Ingvar Carlssons sosialdemokratiske regjering).

71 Dr. Heinrich (Heinz) Ott i Directorate D.R & TD, Head of unit Environment technologies, I Directorate-General XII – Science, Research and Development, var viktig. Director-General var Jean-Pierre Contzen.

Pyle ved University of Cambridge var den første lederen for enheten, etterfulgt av Tony Cox og senere Neil Harris. EUs koordinering og finansiering av den europeiske ozonlagforskningen fra slutten av 1980-årene og framover de neste 15 årene var av stor betydning for kunnskapsgrunnlaget for Montrealprotokollen og senere revisjoner av den. Ozonlagstrusselen på 1980-tallet fikk gjennom denne innsatsen en teknisk og politisk løsning som har vært vellykket.

EU-kommisjonens COST61a-action «Physico-chemical behaviour of atmospheric pollutants» (COST 61a, COST 61a bis) startet i 1969. Der var svovelkjemien sentral. Som før nevnt kvantifiserte Stuart Penkett, som da arbeidet ved Harwell-laboratoriet sør for Oxford i England, hvordan svoveldioksid løst i vanndråper reagerer med H_2O_2 og ozon. Tony Cox samme sted, bestemte hastighetskonstantene for gassfasereaksjoner. Styringsgruppen var ledet av Cyrill Brosset, som var direktør for IVL i Gøteborg og en viktig inspirator for utviklingen av kjemilaboratoriet ved NILU under Brynjulf Ottar tidlig på 1970-tallet da Nordforsk-samarbeidet kom i gang ikke minst om sur nedbør og kjemiske metoder for å måle nedbørens sammensetning mht. pH, svovel- og nitrogenforbindelser, og SO_2 og NO_2 i luft. Øystein Hov var forsker ved NILU og norsk representant i COST61a-styringsgruppen fra 1981, og fikk etter hvert i oppdrag fra EU-kommisjonen⁷² å lede to utredninger med basis i COST61a-bis, en om fotooksidanter og sammenheng med europeiske utslipp, den andre om sur nedbør i Europa, og han ledet en ekspertkomité i atmosfærekjemi internt i DG Research i EU-kommisjonen fra 1990 og til tidlig på 2000-tallet i forlengelsen av COST61a-bis. Heinrich (Heinz) Ott var sjef for avdelingen i DGXII/DG Research som dette arbeidet sorterte under. En annen viktig støtteperson var Bruno Versino, som var avdelingssjef for luftforurensningslaboratoriet ved Joint Research Centre (JRC) i Ispra. En rekke europeiske atmosfærekjemi-konferanser ble holdt i området rundt JRC Ispra (i Varese) i Italia, forslag til faglig innhold i EUs tredje til og med sjettemprogram for forskning ble utarbeidet, og resultater fra rammeprogramprosjektene i atmosfærekjemi ble oppsummert med

72 Hov, Ø., Becker, K.B., Builtjes, P., Cox, R.A. & Kley, D. (1986). *Evaluation of the photooxidants-precursor relationship in Europe*. Air Pollution Research Report 1, Commission of the European Communities, Brussels.

Hov, Ø., Allegrini, I., Beilke, S., Cox, R.A., Eliassen, A., Elshout, A.J., Gravenhorst, G., Penkett, S.A. & Stern, R. (1987). *Evaluation of Atmospheric processes leading to acid deposition in Europe*. Commission of the European Communities, Air Pollution Research Report No. 10, Brussels.

særlig vekt på deres relevans for EUs miljøpolitikk og forskningspolitikk innen atmosfæreforskning.⁷³ EU-kommisjonen var en viktig finansieringskilde og for koordineringen av atmosfærekjemiforskning i Europa gjennom hele 1990-tallet og ut på 2000-tallet. Dette betydde mye også for forskningsinnsatsen og dens retning på NILU og ved UiO, og for den faglige begrunnelsen for revisjoner av Montrealprotokollen.

4.22 Medlemskapet i ECMWF nærmer seg

Axel Wiin-Nielsen var blitt direktør ved DMI. I slutten av januar 1987 sendte han sin norske kollega Arne Grammeltvedt kopi av et brev han hadde fått fra den danske minister for nordiske anliggender Christian Christensen, der det heter

ministeren vil snakke underhånden med sin norske kollega samarbeidsminister Bjarne Mørk Eidem om norsk tilslutning til ECMWF (selv om det formelt er utenfor deres porteføljer).

I brev fra Kultur- og vitenskapsdepartementet (signert av ekspedisjonssjef Arve Kjølberg, parafert av Hans Sørbo, spesialrådgiver) datert 8. mars 1988⁷⁴ sies det at departementet har bedt UD innhente Stortingets samtykke til at Norge slutter seg konvensjonen av 11. oktober 1973 om opprettelsen av Det europeiske sentret for mellomlange værvvarsler. Kostnadene er per 1. januar

73 Hov, Ø. (red.) (1993). *Chemistry in the atmosphere. A strategy for European research into global environmental issues*. Commission of the European Communities, DGXII, Brussels September 1993, 33 pp.

Mégie, G., Amanatidis, G.T., Angeletti, G., Becker, K.H., Cox, R.A., Harris, N., Hov, Ø. & Versino, B. (1997). *A global strategy for European atmospheric interdisciplinary research AIREs*. The Commission of the European Communities, EUR17645EN.

Hov, Ø. (red.) (2001). *A global strategy for atmospheric interdisciplinary research in the European Research Area, AIREs in ERA*, Air Pollution Research Report No 76, European Commission, 59 pp.

Lelieveld, J., Harris, N., DeMaziere, M., Fuzzi, S., Granier, C., Andreae, A., Bais, A., Carli, B., Fowler, D. & Hov, Ø.; I Isaksen, G. Megie, T. Peter, J. Pyle, U. Schumann & P. Taalas. (2005). *Atmospheric Change and Earth System Science*. Air Pollution Research report – AIREs III, CEC, Bruxelles, EUR 21465, 35 p.

74 MET-ECMWF-KUV til DNMI etc. om iverksettelse av vedtaksprosessen for no_medlemskap_Kjølberg_080388.pdf i MET-ECMWF-medlemskap-arkiv.

1988 £ 742 376 som engangsbeløp og £ 195 086 som årsbeløp beregnet ut fra Norges bidragsandel på 1,85 %.

Arne Grammeltvedt klaget i et brev til Kultur- og vitenskapsdepartementet 14. juni 1988 over at ECMWF-medlemskapet var forsinket idet han viser til departementets beskjed om dette i brev av 8. mars 1988, og sier at dette er uheldig for DNMI. I brev fra Kultur- og vitenskapsdepartementet til UD 3. februar 1989 ba de om at byråsjef Arne Moi i Kultur- og vitenskapsdepartementet og Arne Grammeltvedt skulle bli oppnevnt som norske representanter i ECMWF Council.

I en håndskrevet telefaks fra departementet til DNMI datert 25. juli 1988 heter det at «Stortingsprop. om medlemskap passerte statsråd sist fredag», dvs. 22. juli 1988. Stortinget vedtok det norske medlemskapet 11. november 1988, og ratifikasjonsdokumentene ble deponert 29. november 1988. Medlemskapet trådte i kraft fra 1. januar 1989.⁷⁵

Arne Grammeltvedt fikk teleks 17. november 1988 fra sin britiske kollega John Houghton, som var Director General ved UKMO (United Kingdom Meteorological Office) og tidligere fysikkprofessor ved University of Oxford, der han sa

I was pleased to hear from the director of ECMWF (Lennart Bengtsson) that your parliament has decided that your country shall accede to the centre and that Norway is expected to become a member state in January or February 1989.

Arne Grammeltvedt deltok som observatør på vegne av Norge i den 29. sesjonen av ECMWF Council 23.–24. november 1988. «Invitasjon til offisiell åpning av linjeforbindelsen mellom ECMWF og DNMI» ble sendt ut 8. juni 1989 fra Arne Grammeltvedt til samarbeidsparter i staten og til NTB, NRK, Aftenposten, MD. Snart ble Grammeltvedt ivrig opptatt med arbeidet i ECMWF Council, og ble Council-president i en periode. Anton Eliassen sier at «vi andre fikk vite svært lite om hva som foregikk der, det var bare direktøren og hans internasjonale rådgiver Lillian Svendsen som var involvert. Vi fikk av og til et skriv til kommentar, men disse skrivene ble aldri diskutert i ledelsen».

75 <https://lovdata.no/dokument/TRAKTAT/traktat/1973-10-11-21>

4.23 Sluttord

Man skal tenke seg nøye om før man, på teoretisk grunnlag, sier at en ambisiøs plan ikke lar seg gjennomføre. ECMWF ville prøve å lage 10-døgns værvarsler. Deres 10-døgnsvarsler er ennå ganske usikre, men de beste i verden og forskningsmiljøet der holder et meget høyt nivå. Den numeriske værvarslingsmodellen for nordvest-Europa, LAM 50S eller NORLAM, ble utviklet ved Meteorologisk institutt til tross for manglende støtte fra ledelsen ved instituttet, som ikke trodde instituttet kunne gjennomføre et så ambisiøst prosjekt. «Det er meget vanskelig å få til noe basert på de primitive ligningene», var det toneangivende standpunktet til ledende norske forskere i atmosfærens dynamikk på 1970- og tidlig 1980-tall. Anton Eliassen sier at «da jeg fortalte Arnt at Norge var blitt medlem av ECMWF, ble han taus og i hvert fall ikke glad. Jeg kjørte hjem».

Spørsmålet om norsk medlemskap i ECMWF ble ikke utredet eller belyst faglig eller ut fra samfunnsnytte eller politiske hensyn. På vegne av DNMI låste Ragnar Fjørtoft spørsmålet om norsk medlemskap i ECMWF i praksis allerede i sitt første brev til departementet om saken i julehelgen 1969: «Det er derfor helt unødvendig å opprette noe nytt europeisk meteorologisk senter utenom World Weather Watch-planen i WMO for 'public services'.»

Kirke- og undervisningsdepartementet ba ikke om en bred redegjørelse av ECMWF-spørsmålet, og de spurte ikke om hvorfor andre land og først og fremst Sverige, tok et annet standpunkt. Dette til tross for at medlemskapsforhandlingene ble ledet av Alf Nyberg, som var generaldirektør for det svenske meteorologiske og hydrologiske institutt (SMHI), samtidig som han var president for WMO, som Fjørtoft knyttet slik tiltro til.

Utenriksdepartementet vant ikke fram med sin vilje til samarbeid med EF. Det er vanskelig å forstå at UD aksepterte at Kirke- og undervisningsdepartementet tillot at en feilaktig eller, i beste fall, naiv forståelse av WMOs evne til å dekke Norges behov for værvarsler, ble bestemmende for et viktig utenrikspolitisk valg. UD var ganske sikkert godt orientert om FN-organers funksjonsmåte – som vesentlige for en dialogbasert, positiv utvikling ikke minst i fattige land, men utilstrekkelige som garantister for samfunnskritiske tjenester i et land som Norge. Skyldtes UDs passivitet at et krav til KUD om en bredere, grundigere og mer representativ analyse, i neste omgang kunne

utløse krav om at UD skulle støtte et behov for nye budsjettmidler til KUD? Var det sterke enkeltpersoner som stod i veien? Var det svakheter i politisk ledelse i departementene? Svaret er kanskje ja på alle disse spørsmålene. Fjørtoft og ekspedisjonssjef Enevald Skadsem i KUD var sterke. Etter EF-avstemningen i september 1972 forsvant dessuten den politiske drivkraften for UDs samarbeidsiver med EF.

I dag ville nok en slik saksbehandling hos en statlig fagetat ha vært nesten utenkelig. Det ville ha vært naturlig og nødvendig å drøfte de teknologiske, økonomiske, sikkerhetsmessige, forskningsmessige, fagpolitiske (f.eks. relasjonen til WMO) og generelle politiske spørsmål (forholdet til nasjonale og internasjonale interesser) bredt med relevante departementer, andre fagmiljøer og kolleger i meteorologi nasjonalt og internasjonalt.

Selv om Fjørtoft var Norges faste representant (PR) ved WMO, så er WMO mellomstatlig og UD har instruksjonsmyndighet i saker med politiske overtoner, slik som her. Det er oppsiktsvekkende at Fjørtoft avviste COST70-forslaget med WMOs World Weather Watch-program som begrunnelse uten at dette ble drøftet med Utenriksdepartementet hverken da eller tilsynelatende siden. Norsk politikktøvelse via FNs organer er tross alt et tema som er av nasjonalpolitisk interesse og kan ikke avgjøres av direktøren i en fagetat slik som her. Men tvert om så vil Fjørtoft ha seg frabedt at «faglige vurderinger fra instituttet blir omprøvet av tjenestemenn i UD», slik han gjorde i brevet til ekspedisjonssjef Enevald Skadsem i KUD 30. oktober 1972.

Heller ikke framgangen og arbeidsmåten i andre meteorologirelaterte fagområder påvirket DNMI's prioriteringer. Dette gjaldt særlig arbeidet med langtransport av sur nedbør, som ble utviklet som et nordisk og europeisk forskningsområde utover på 1970-tallet, og der det var store norske forsknings- og miljøpolitiske interesser.

Fjørtoft kunne selv velge om og hva han formidlet til departementet, det var tilsynelatende ingen faste rutiner for rapporteringen til departementet fra en underliggende etat som DNMI når DNMI deltok som statens representant internasjonalt. Rutinene på dette området var annerledes i Sverige.

Lennart Bengtsson sier 50 år senere at «Ragnar Fjørtoft var vetenskaplig intresserad i Centret men föredrog så vitt jag kunde förstå att Norge inte var direkt involverad till att börja med. Med sin bakgrund tyckte han kanske inte att vi var tillräckligt kvalificerade samt att risken var stor att Centret inte skulle leva upp till förväntningarna». Dette er trolig en treffende oppsum-

mering og uttrykker en selvbevissthet som hadde konsekvenser ikke bare for norsk ECMWF-medlemskap. Dette ga seg også utslag i en halvhjertet støtte til viktige og vellykkede forsknings- og utviklingsinitiativ ved DNMI som NORLAM og EMEP. Deltagerne fikk realisert sine planer og ressurser. DNMI's infrastruktur og arbeidsform var egnet til å ta hånd om slike oppgaver til tross for at støtten fra toppen var utydelig.

Men norsk værvarslingsorientert meteorologi ble akterutseilt og isolert i 1970-årene, slik Langlo og Grammeltvedt 10–15 år senere klager over i brev til Kirke- og undervisningsdepartementet. De formidler ikke DNMI's ansvar for denne situasjonen, og kanskje de også overdrev siden instituttet i virkeligheten hadde hånd om viktig og internasjonalt ledende forskning og utvikling både på værvarslings- og luftforurensningsområdet og som etter hvert moderniserte instituttets innretning, arbeidsform og samfunnsbetydning. Sett med dagens briller hadde det vært naturlig og viktig å formidle dette til overordnet myndighet, det kunne sågar ha gitt positive utslag på bevilgningene, men ledelsen i DNMI så det nok ikke slik og var kanskje heller ikke enig i at NORLAM eller EMEP var av særlig betydning.

Medlemskapet i ECMWF ble til slutt realisert via et politisk initiativ fra Miljøverndepartementet. Dette initiativet var basert på en tillit opparbeidet over mange år mellom norske forskere som fungerte som eksperter i departementets internasjonale policy-bestrebelse når det gjaldt reduksjon av sur nedbør og ozonlagsnedbrytningen. Det var i første rekke Ivar Isaksen og Anton Eliassen som fylte disse rollene ved at de tok «honest broker»-rollen i policyarbeidet, for å bruke Pielkes terminologi.⁷⁶ «The honest broker engages actively with policy-makers and societal sectors over time to solve particular problems by developing policy alternatives.» Pielke definerer fire kategorier forskere i relasjon til policyutvikling. De andre tre er «pure scientist who communicates facts without paying any attention to the political context», «science arbiter who answers questions of policy-makers, but without providing further assistance (e.g. on whether the question is the right one)», og «issue advocate who uses research results to influence a political agenda, thus narrowing the scope of choices». Fjortofts agering passer ikke så

76 Pielke, R. Jr. (2007). *The Honest Broker. Making Sense of Science in Policy and Politics*. Cambridge University Press. 188 p.

godt inn i disse kategoriene, men kanskje den både har trekk av «pure scientist» og «issue advocate»? Denne kombinasjonen ville neppe ha fungert i dag. Respekten som ekspedisjonssjef Enevald Skadsem hadde for Fjørtofts synspunkter bunnet nok i Fjørtofts meritter som forsker, uten at Fjørtoft i nevneverdig grad formidlet den faglige begrunnelsen for sine policy-standpunkter. Det kan hevdes at Fjørtoft her førte norske myndigheter bak lyset, og at hans egentlige motforestillinger bygger på andre forhold enn det han tar frem i sin første respons på slutten av 1969. Fjørtoft viste ikke tegn til å antyde bredden i spørsmålsstillingene i kjølvannet av COST-forslaget. Han konsentrerte seg bare om det fagpolitiske, der han uttrykte et kategorisk standpunkt uten først å gjennomføre en drøfting og problematisering, ikke minst av WMOs rolle og betydning. Det var altså ingen drøftingsfase på nasjonalt plan, sett ut fra nasjonale interesser, før dette kategoriske standpunktet kom fra fagetatens leder. Det hadde ikke holdt i dag.

IMO, International Meteorological Organization fra 1879, ble avløst av WMO, World Meteorological Organization i 1950. WMO deler ut en årlig pris for fremragende innsats i meteorologi. Kandidater til prisen kan nomineres av medlemslandenes faste representanter til WMO (direktørene for de nasjonale værtjenestene). Den første mottakeren av IMO-prisen var Theodor Hesselberg i 1956.⁷⁷

Ragnar Fjørtoft (1913–1998) fikk IMO-prisen i 1991. Erttertiden har vist at det var et feilgrep å lukke døren for norsk medlemskap i ECMWF. Men for å vise det bredere perspektiv som han hadde på flere av spørsmålene og drøftingene som er gjort i denne artikkelen om Norges vei til medlemskap i ECMWF, gjengis her hans takketale der han vender tilbake til noen hovedtanker han har hatt gjennom sin karriere.

Til stede ved høytideligheten i Genève var Ragnar Fjørtoft, Arne Grammeltvedt (Norges faste representant ved WMO), WMOs generalsekretær G.O.P. Obasi, WMOs president Zou Jingmeng, administrator of the State Meteorological Administration of China, Ragnhild Fjørtoft og Arnt Eliassen (se fotografier).

77 <https://public.wmo.int/en/about-us/awards/international-meteorological-organization-imo-prize>

Mr President of WMO (Obasi)

I beg you to convey to your organization my most heartfelt thanks for its decision to give me this honourable prize.

I understand it is expected that I present a short talk on this occasion, and not just saying «Thank you, and goodbye!». The difficulty is, however what this talk should be about. In lack of any other guidance from your Secretary-General, I have chosen to make some comments on the reasons your organization has given for making me the recipient of the 1991 IMO prize. I shall do that on the background of how circumstances and conditions specific for my country have come to influence meteorology in Norway.

During centuries Norwegians have made a large part of their livings from the sea, by fisheries, in later years also from the off-shore industry. Many of my countrymen have therefore through ages been exposed to the hazards of the frequent storms which characterize the climate of the adjacent seas of our region. Also agriculture has often been exposed to the damaging influences of a marginal climate. It is understandable therefore that requests for funds to meteorology often have been met with sympathy by the responsible politicians and authorities.

Furthermore, the fact that meteorology is a branch of natural science has been emphasized perhaps more strongly in my country than in many others. Henrik Mohn, the first director of the Norwegian Meteorological Service, I have been told, was the only one at the conference of foundation of IMO in 1883 who strongly advocated the view that weather forecasting ultimately had to be founded on the relevant physical laws, a view later on shared by other leading Norwegian meteorologists.

When, with the introduction of electronic computers in the late 40-ies, this suddenly became a realistic possibility, Norwegian meteorologists were therefore mentally well prepared for all the challenges that accompanied this. A central person in the world to initiate the research necessary to obtain sufficiently accurate numerical schemes, has been Arnt Eliassen, who also obtained a number of useful results. Later on this has been followed up by groups in many countries, including my own.

At the Norwegian Meteorological Institute of which I became the director in 1955, we started soon thereafter work in order to get funds for buying an electronic computer, and got appointed a staff of young enthusiastic scientists to do, together with the more experienced scientists we

already had, the necessary work to prepare for physical forecasting, i.e. forecasting on the basis of the physical laws, on a routine basis. In fact as a result of this, and the sympathy we met from the responsible authorities, our country became the first one on the European continent to establish such a routine forecasting, and became an example to be followed by other European countries.

To make physical weather forecasts it is not sufficient to have observations confined to the atmosphere near the ground, but also from upper layers. Unfortunately in these same years when electronic computers were taken in use, the weather ships, which were the main basis for such observations, were reduced in number. Accordingly, there was the risk, if this process continued, that the advances we expected from an increased computational capacity, could be counteracted by less well defined initial fields. In the Congress of WMO we therefore argued strongly for maintaining the number of weather ships, though not with much success, however. Norway continued to maintain a network of Arctic stations, and developed an automatic buoy to measure wind, pressure and air temperature over the open seas, to be communicated to land. It was later on developed to a technical stage which allowed a considerable number of drifting buoys to be launched during special periods of the Global Atmospheric Research Programme as a part of a major contribution from Norway to this programme.

Finally, Mr. President, your organization has pointed to my merits in dynamical meteorology. On this I would just remark that these works are the ones which have given me the highest intellectual pleasure.

Strictly speaking I am obliged to consider the prize as a personal honour, and that is certainly also what I was doing. However, I would very much like to view it in light of the important contribution of Norwegian meteorology in general to the great advances in meteorology over the last 40 years.

I am thankful to Det norske meteorologiske institutt, which I have learned launched me as candidate for the prize. I wish the institute every success in its future work.

To you, Mr. President, and to you the Secretary General, I express my gratitude for your decision to represent in persons your organization at this ceremony. I wish your organization every success in its future work. Thank you!



Figur 4.3 Øverst fra venstre: Arne Grammeltvedt (Norges faste representant ved WMO), WMOs generalsekretær G.O.P. Obasi, WMOs president Zou Jingmeng og Ragnar Fjørtoft. Nederst fra venstre: Ragnar Fjørtoft, Arnt Eliassen og Ragnhild Fjørtoft. Bilder tatt i WMOs hovedkvarter i Genève, 1991 (Per-Anders Rosenkvist, Samfoto).

Iversen, T., Eliassen, A. & Hov, Ø. (2023). Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC. I Ø. Hov (Red.), *Norsk meteorologisk forskning* (s. 403–413). Fagbokforlaget.
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220105>

5

Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC

Trond Iversen, Anton Eliassen og Øystein Hov

5.1 Innledning

11. januar 2021 publiserte forskning.no en artikkel under overskriften «Hvorfor varslet ikke norske forskere om klimaendringene tidligere?» (Jakobsen, 2021) basert på en studie av Lars Sandved Dalen: «Forsiktige forskere, engasjerte journalister» (Dalen, 2020). Der tar han for seg pressestoff om drivhuseffekten i tre aviser (Aftenposten, VG og Dagbladet) over perioden 1959–1988. Dalens interessante studie og oppslaget i forskning.no gir oss mulighet til å reflektere over forskeres bidrag til den allmenne opplysning om et komplisert fagfelt med betydelige konsekvenser for naturen og folks liv.

En stor andel av pressestoffet Dalen fant, var journalistisk og ikke skrevet av forskere. Han fremhever at journalister var «modigere» i formidlingen av klimaforskning, mens forskere enten var opptatt av usikkerheten eller avviste tanken om menneskeskapte klimaendringer. Han siteres i forsk-

ning.no til å hevde at dette kan ha blitt bevisst utnyttet av særinteresser som ikke ønsker endringer, at det har bidratt til at erkjennelsen om menneskeskapte klimaendringer har kommet sent, og at den erkjennelsen vi nå har, ikke først og fremst er forskernes fortjeneste.

Vårt anliggende er ikke først og fremst å diskutere Dalens metoder til å velge ut pressestoff, selv om valget av aviser og søkekriteriene kan føre til skjevheter. Dette diskuterer han også selv i den fulle artikkelen i *Mediehistorisk Tidsskrift*. Der har han også en vesentlig mer balansert framstilling av hva norske klimaforskere den gang kunne forventes å formidle om drivhuseffekt og klimaendringer, enn det sitatene i forskning.no kan gi inntrykk av.

Allikevel vil vi hevde at noen av diskusjonene og påstandene er farget av at klimaforskere og allmennhet i dag vet veldig mye mer om menneskeskapte globale klimaendringer enn de gjorde for 30–60 år siden. Visst var det ikke den gang faglig grunnlag for å avvise tanken om menneskeskapte klimaendringer, men det var heller ikke grunnlag for skråsikkerhet om hvor viktige disse kunne komme til å bli 2–3–4 dekaner senere.

At norske klimaforskere ikke skulle ha bidratt betydelig til dagens erkjennelse om temaet, er en urimelig påstand. Dalen tok ikke for seg norske klimaforskeres svært betydelige bidrag, i perioden fra slutten av 1990-tallet til i dag, til den allmenne opplysning om mulighetene for og virkningene av menneskeskapte klimaendringer. At allmennheten kan ha fått inntrykk av at forskerne er uenige, kan til en viss grad forstås, men dette kan også skyldes journalisters framstilling.

5.2 Forskeres formidling kontra journalisters

Journalister og forskere formidler ikke forskningsresultater på samme måte. Dette er det gode grunner for. Ny naturvitenskapelig erkjennelse oppnås i en pågående prosess der tidligere sannheter utfordres. Tidlig i slike prosesser vil det være tvil om tolkninger av data og hypoteser om årsaker, og dette er også viktig å formidle. Dette er ofte kilde til konflikt mellom journalistenes ønsker om utsagn uten forbehold og forskernes vitenskapelige tvil.

Intet beslutningsgrunnlag blir bedre om forskere skulle underslå at kunnskapen faktisk er usikker. Nye funn vil i så fall stadig måtte avkrefte av enda nyere, med allmenn forvirring som resultat. I ettertid er de gale

hypotesene som regel glemt. Dette er ikke minst kjent fra popularisering av medisinske forskningsresultater. Presse og media har også et ansvar når særinteresser prøver å utnytte vitenskapelig usikkerhet til egen fordel.

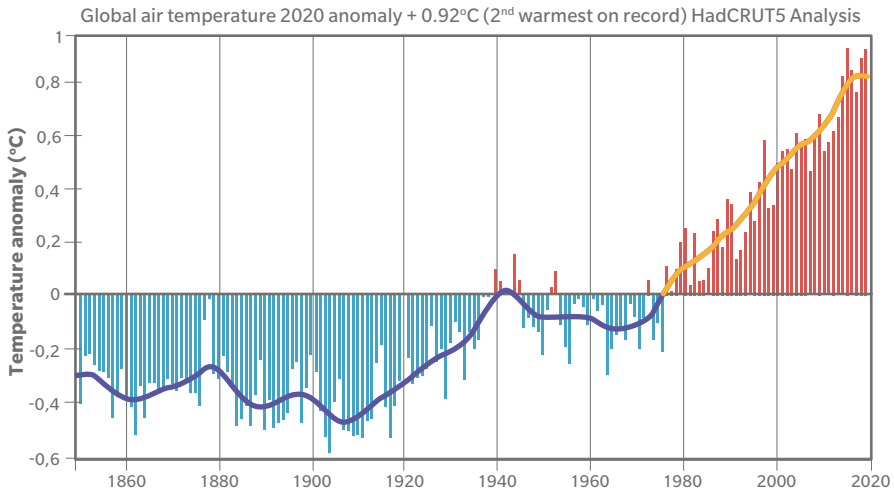
Det er betimelig å spørre seg både om hvor godt vitenskapelig grunnlag forskere må ha for å slå alarm om en mulig farlig menneskeskapt påvirkning på naturen og menneskers kår, og om store kostnader for å redusere slike farer gjør at det kan stilles svakere krav til grunnlaget for å avvise at en fare er reell. Det skal heller ikke stikkes under stol at insitamentene for forskere å formidle resultater fra eget fagfelt tradisjonelt har vært svake.

5.3 Hva kunne formidles om klimaendringer 1959–1988?

Det er lett for oss å forstå at mange norske forskere på 60–70–80-tallet var tilbakeholdne med «å rope ulv» om globale, menneskeskapte klimaendringer. Som Dalen selv nevner i sin artikkel var det få norske forskere som den gang arbeidet med relevante temaer som kunne utvikle forståelse med sikte på å beregne globale klimaendringer. Dette var også i god tid før FNs klimapanel (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change) begynte å publisere samlede vurderinger av forskningsstatus.

Observasjoner som grunnlag for å detektere eventuell global oppvarming var mangelfulle, og de antydte snarere en langsom global avkjøling enn en oppvarming fram til midten av 70-tallet (figur 5.1). At en slik tendens til global avkjøling kunne skyldes svovelforurensing, som også er knyttet til sur nedbør, ble først beregnet på 90-tallet (Mitchell mfl., 1995). På 80-tallet så man en begynnende global temperaturøkning (IPCC, 1990 og 1992), men ikke før rundt årtusenskiftet i den tredje hovedrapporten TAR (IPCC, 2001) kunne man med en viss grad av sikkerhet registrere global oppvarming ut over tilfeldig variasjon.

At mengden CO₂ i atmosfæren hadde økt siden 1959, var observert på Mauna Loa, Hawaii (figur 5.2), og det var etter hvert betydelig kunnskap om at andre gasser i atmosfæren (metan, KFK, N₂O) hadde økt eller endret seg (ozon). Disse gassenes bidrag til varmestråling var godt kjent, og man visste

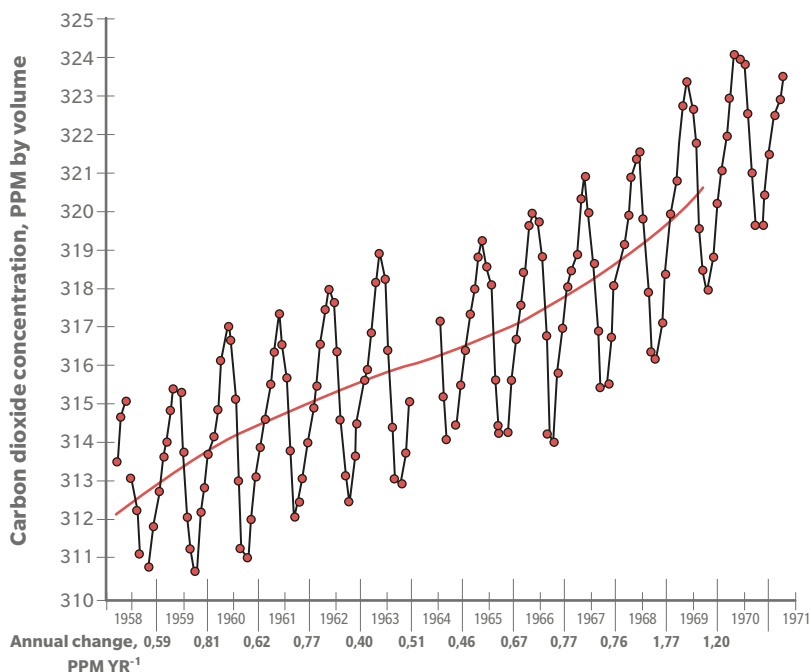


Figur 5.1 Årlig gjennomsnitt av global lufttemperatur ved jordoverflaten analysert på bakgrunn av observasjoner. HadCRUT5-analysen er et samarbeid mellom Hadley Centre ved UK Met Office og Climatic Research Unit ved University of East Anglia, UK. Verdiene er avvik fra gjennomsnittet for årene 1961–1990, og den svarte kurven er 10-års glidende gjennomsnitt. Merk den avtagende trend 1940–1975. (Kilde: Osborne & Jones, 2021. Full beskrivelse: Morice mfl., 2019)

hvor viktig drivhuseffekten er for å ha levelige temperaturforhold på jordoverflaten. Imidlertid var det betydelige mangler i den vitenskapelige forståelsen bak den tidens høyst rudimentære beregninger av *hvor mye varmere* kloden kunne bli som følge av økt drivhuseffekt.

De mest avanserte modellberegningene var, for eksempel, langt fra i stand til å beregne hvor stor andel av den økte energimengden som atmosfæren fanger opp, som blir fraktet ned i dyphavet. Så sent som på 90-tallet (før IPCC, 2001) måtte modellenes beregning av varmetransport i havet korrigeres kunstig («flukskorreksjoner») for å unngå uakseptable feil i beregningene av det observerte klima. Ennå er skyenes varmeregulerende rolle ved økt drivhuseffekt dårlig forstått.

Man manglet en kvantitativ forståelse av karbonets fullstendige kretsløp. For eksempel var det i mange år et «missing sink» i karbonbudsjettet, som siden har vist seg å skyldes opptak av CO₂ av boreal skog. Det var først i den femte hovedrapporten, AR5 (IPCC, 2013), at flere globale modell-



Figur 5.2 Konsentrasjoner av CO₂ i atmosfæren (ppm = per milliondel luftvolum) målt på Mauna Loa, Hawaii, slik den var i 1971. (Fra Wilson & Matthews, 1971, s. 234; Kilde for data: Keeling mfl., 2001)

beregninger inkluderte beregninger av biogeokjemiske prosesser for beregning av syklusene til drivhusgasser og aerosoler. I den sjette hovedrapporten, AR6, ble for første gang vegetasjon og isbreer dynamisk beregnet i enkelte modeller (IPCC, 2021, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>).

Selv om forskere den gang med rette uttrykte tvil, var det naturlig at journalister skrev om muligheter for klimaendringer mot år 2000. Dalen har gode eksempler i sin artikkel, og her legger vi til noen faglig viktige omstendigheter.

CO₂-observasjonene var en viktig årsak til at en *ad hoc*-gruppe (SMIC: Study of Man's Impact on Climate) av internasjonale forskere kom sammen sommeren 1970 for å etablere et program for forskning for bedre å forstå og beregne konsekvenser for det globale klima. SMIC-rapporten fra 1971 (Wilson & Matthews, 1971) vitner om dyp forståelse av hva som måtte til,

men de innså at begrensede ressurser og regnekraft var vesentlige hindringer. Man kan kjenne igjen strukturen i SMIC-rapporten i hovedrapportene fra IPCC som kom for første gang tjue år senere (IPCC, 1990, med tillegget IPCC, 1992).

En tidlig beregning antydte en global oppvarming på 0,6 °C mot slutten av det 20. århundre av det økte CO₂-nivået (Sawyer, 1972), men dette var kontroversielt. Flere konferanser og vitenskapelige publikasjoner diskuterte spørsmålet, og et eget vitenskapelig tidsskrift (*Climatic Change*) ble etablert i 1977. Charney-rapporten (Charney mfl., 1979) fra en *ad hoc*-samling sommeren 1979 har ofte blitt referert til, fordi den beregnet en global oppvarming som følge av fordoblet innhold av CO₂ på mellom 1,5 °C og 4,5 °C, med 3 °C som mest sannsynlig etter likevekt.

Allikevel kan det hevdes at det er et større tankekors at forskeren James Hansen (se for eksempel <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/06/26/james-hansens-climate-warning-30-years-later/>) varslet den amerikanske kongresshøringen så klart i 1988, enn at mange andre forskere var tilbakeholdne med sine utspill til allmennheten. Men det er et minst like stort tankekors at enkelte fagfolk avviste at det kunne være menneskeskapte klimaendringer på gang.

5.4 Hva var norske forskere opptatt av den gang?

Forskere i flere naturvitenskapelige fagdisipliner bidrar til klimaforskning. Norske atmosfære- og havforskere på 60–70–80-tallet arbeidet med miljøproblematikk med varierende grad av klimarelevans. De var også aktive formidlere til allmennhet og til beslutningstakere nasjonalt og internasjonalt, og det brøt på mange måter med den fremherskende formidlingskultur blant forskere i naturvitenskap.

Dagsaktuelle og viktige temaer for Norge og Europa var slike som vannkvalitet i ferskvann, fjorder og nære havområder (NIVA, Havforskningen, Norsk Polarinstittutt, Nansensenteret) og lokale og regionale luftforurensninger (NILU og Meteorologisk institutt). Arbeidet med grenseoverskridende luftforurensninger i Europa knyttet til sur nedbør, eutrofiering og bakkenært ozon er et strålende eksempel der blant andre Brynjulf Ottar,

Harald Dovland og Anton Eliassen var sentrale grunnleggere. Eventuelle globale klimaendringer var til sammenligning å betrakte som både usikre og med konsekvenser som neppe ville merkes før om flere tiår.

Ozonlagsproblematikken er global og nærmere beslektet med global oppvarming, fordi verdens utslipp av stabile halokarboner spaltes i stratosfæren til komponenter som katalytisk destruerer stratosfærisk ozon, slik at mer energirik solstråling kan nå ned til bakken. Både ozon og flere av gassene som påvirker ozonlaget, drivhusgasser og temaets globale perspektiv, gjorde at forskningen raskere kunne knyttes til spørsmålet om menneskeskapt globale klimaendringer. I Norge var det UiO som var aktive på feltet med Eigil Hesstvedt som grunnlegger. De var i høyeste grad oppmerksomme på koblingen til globalt klima, og Ivar Isaksens bidrag er behørig nevnt av Dalen. Øystein Hovs prøveforelesning til doktorgraden i november 1982 omhandlet denne koblingen, og han hadde en kronikk om temaet i Aftenposten i 1984.

Norge hadde også flere verdensledende forskere innen meteorologi, oseanografi og geofysisk fluiddynamikk ved UiO og UiB etter Vilhelm Bjerknes som ikke var direkte motivert av miljøspørsmål. Relevansen for globale klimaendringer var imidlertid vanskelig å få øye på. Dels så man værvarsling og forvaltning av havressurser som de viktigste umiddelbare anvendelser, og dels søkte man å forstå grunnleggende dynamiske og fysiske enkeltprosesser.

Forskningen kunne for eksempel være knyttet til strømming over og rundt fjell, drivkreftene bak vestavindsbeltene på midlere bredder, dypvannsdannelse og drivmekanismer for «Golfstrømmen» og Den norske kyststrøm. Slike prosesser er viktig for å forstå klimavariasjoner og klimaendringer, men å sette slik prosesskunnskap inn i en helhetlig global sammenheng var den gang verken umiddelbart mulig eller uttrykt som et klart behov. Selv om forskerne også den gang var klar over relevansen for jordas klima, var økt forståelse av detaljerte prosesser lite egnet som grunnlag for sterke utsagn om global oppvarming.

5.5 Og hva er situasjonen nå?

Norsk forskningsinnsats på det helhetlige klimasystemet (og senere jord-systemet) økte betydelig utover på 90-tallet og videre inn i vårt århundre. Denne perioden var ikke omfattet av Dalens studie. Økningen skyldtes særlig økte bevilgninger fra Miljøverndepartementet, først til Norges allmennvitenskapelige forskningsråd og fra 1993 til Norges forskningsråd. Med denne satsingen kunne den norske kompetansen som var bygget opp i atmosfærekjemi, meteorologi og oseanografi, raskt komme til nytte i klimaforskningen.

Dette økte kompetansen og kapasiteten med ressurser til å utdanne forskere, ga mer regnekraft på avanserte datamaskiner. Observasjonsrekkene ble også et par dekader lengre med klarere tegn på global oppvarming. Alt dette førte til et nytt paradigme for forskning og formidling. Den aktive formidlingen har vært i samsvar med et stadig bedre vitenskapelig grunnlag siden årtusenskiftet for mindre tvil og usikkerhet; jf. IPCC, 2001 og nyere rapporter fra IPCC. At norske klimaforskere ikke har bidratt betydelig til dagens erkjennelse av globale menneskeskapt klimaendringer, er kort og godt feil.

Cicero (cicero.oslo.no/no) ble grunnlagt i 1990, blant annet med et eget mandat for å formidle klimaforskning. Det er et flerfaglig institutt med tilknytning til økonomi og politisk utforming, men er også sterke på naturvitenskapelig klimaforskning. De er særdeles aktive formidlere. I 2000 ble Bjerknnessenteret (bjerknnes.uib.no) grunnlagt som Senter for fremragende forskning under ledelse av Eystein Jansen. De er et fyrtårn for norsk klimaforskning, og flere av forskerne er aktive formidlere.

I 1997 startet det første nasjonalt koordinerte klimaprojektet RegClim (projects.met.no/regclim/), som Trond Iversen ledet fram til 2006. Det ble videreført i prosjekter ledet av Helge Drange ved Bjerknnessenteret. I Sverige startet de prosjektet SweClim ved Rossbysenteret samtidig med RegClim, og vi hadde mye samarbeid med dem og med Dansk klimasenter. Forskerne formidlet forskning om klima og klimaendringer svært aktivt, gjennom faste artikler i publikasjonen Cicerone med 6 nummer per år (nå Klima), tre populariserte fagbrosjyrer med opplag på 10 000, to større pressekonferanser, og utallige intervjuer og artikler i presse og media. De første publiserte resultatene førte til innslag i NRK Dagsrevyen (11. mai 2000), intervjuer

i NRK TV Nyhetsmorgen og talkshow (Skavlans «Først og Sist»), mange avisartikler og radiointervjuer, og ble referert i en kronikk av miljøvernministeren og i Stortingets spørretime.

Med Bergen Climate Model var Bjerknæssenteret de første i Norden som leverte globale beregninger til IPCC, 2007. Siden har de sammen med Meteorologisk institutt, UiO, UiB og NORCE bygget jordsystemmodellen NorESM (www.noresm.org) som bidro til IPCC, 2013 og bidro til den sjettede hovedrapporten, AR6, som kom i 2021 (IPCC, 2021, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>). Modellen fremheves i internasjonale evalueringer som viktig for norsk klimaforskning (side 9 i rapporten fra Norges forskningsråd, 2014, og side 121 i den engelske rapporten fra The Research Council of Norway, 2012).

Meteorologisk institutt har betydelig vitenskapelig produksjon knyttet til statistisk analyse av observerte og modellberegnete klimadata, og er aktive formidlere av kunnskap om klima og klimaendringer i Norge og globalt. De leder Norsk klimaservicesenter (www.klimaservicesenter.no), som et samarbeid mellom Meteorologisk institutt, NVE, Bjerknæssenteret og NORCE, som publiserer synteserapporter og råd til myndigheter og allmennhet om de globale klimaendringenes regionale konsekvenser i Norge og i Arktis.

5.6 Avslutningsvis

Lars Sandved Dalens studie har gitt oss en fin mulighet til å reflektere over forskeres bidrag til den allmenne opplysning om fagfelt som kan ha betydelige konsekvenser for folk og natur. Dette er på langt nær noen fullstendig oversikt over norsk klimaforskning og norske forskeres formidling, og mye mer skulle vært nevnt. Menneskeskapte klimaendringer er et eksempel der både verdens kunnskap og den norske forskningsinnsatsen har økt voldsomt siden slutten av 1990-tallet.

Norske klimaforskere har tatt opp tradisjonen fra miljøforskningen på 60–70–80-tallet med aktivt å kommunisere sine forskningsresultater til allmennhet og beslutningstakere. Dette har utvilsomt bidratt betydelig til den allmenne forståelsen av globale klimaendringer vi har i dag. Det vitenskapelige grunnlaget fra 1959–1988 ga imidlertid verken grunnlag for å understå betydelig usikkerhet eller å avvise mulighetene for menneskeskapt global oppvarming.

Referanser

- Charney, J.G. (1979). *Carbon Dioxide and Climate: A Scientific Assessment*. (Report of an Ad Hoc Study Group on Carbon Dioxide and Climate). National Academy of Sciences. https://www.bnl.gov/envsci/schwartz/charney_report1979.pdf
- Dalen, L.S. (2020). Forsiktlige forskere, engasjerte journalister. *Mediehistorisk Tidsskrift*, 34(2), 32–69. <http://medietidsskrift.no/content/uploads/2020/12/MHT-2020-34-Sandved-Dalen-IDO.pdf>
- IPCC (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. (Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge University Press.
- IPCC (1992). *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. (Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change). Cambridge University Press.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. In press. doi:10.1017/9781009157896
- Jakobsen, S.E. (2021, 11.01). Hvorfor varslet ikke norske forskere om klimaendringene tidligere? *forskning.no*. Hentet fra: <https://forskning.no/media/hvorfor-varslet-ikke-norske-forskere-om-klimaendringene-tidligere/1795682?fbclid=IwAR0lR2pUPDSeU-pDiwmlOA4NOr5lEXLLJJAOUun2xyLX0K7uloXHCptmWbk>
- Keeling, C.D., Piper, S.C., Bacastow, R.B., Wahlen, M., Whorf, T.P., Heimann, M. & Meijer, H.A. (2001). Exchanges of atmospheric CO₂ and 13CO₂ with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I: *Global Aspects*. Scripps Institution of Oceanography. Hentet fra: <http://escholarship.org/uc/item/09v319r9>
- Mitchell, J.F.B., Johns, T.J., Gregory, J.M. & Tett, S.F.B. (1995). Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols. *Nature*, 376, 501–504. <https://doi.org/10.1038/376501a0>
- Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Winn, J.P., Hogan, E., Killick, R.E., Dunn, R.J.H., Osborn, T.J., Jones, P.D. & Simpson, I.R. (2020). An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *JGR Atmospheres*, 126. <https://doi.org/10.1029/2019JD032361>

- Norges forskningsråd (2014). *Ti år med klimaforskning. Sluttrapport for NORKLIMA 2004–2013*. Stort program Klimaendringer og konsekvenser for Norge – NORKLIMA. <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1253996265734.pdf>
- Osborne, T. & Jones, P. (2021). *Global Temperature Record*. Climate Research. (Infosheet). University of East Anglia. <https://crudata.uea.ac.uk/cru/info/warming/infosheet1.pdf>
- Sawyer, J.S. (1972). Man-made Carbon Dioxide and the «Greenhouse» effect. *Nature*, 239, 23–26.
- The Research Council of Norway (2012). *Norwegian climate research. An evaluation. The Research Council of Norway*. <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1253979441497.pdf>
- Wilson, L.W. & Matthews W.H. (1971). *Inadvertent Climate Modification*. (Report of Conference, Study of Man's Impact on Climate (SMIC)). MIT Press.

Kjensli, P.-O., Andresen, L., Harstveit, K.
& Grasbakken, O. (2023). Måleprosjektet på
Hurum: Tilsvar til 30 år med mistenkeliggjøring
av måleprosjektet. I Ø. Hov (Red.), *Norsk
meteorologisk forskning* (s. 414–454).
Fagbokforlaget.
DOI: <https://doi.org/10.55669/oa220106>

6

Måleprosjektet på Hurum

Tilsvar til 30 år med mistenkeliggjøring av måleprosjektet¹

Per-Ove Kjensli, Lars Andresen, Knut Harstveit, Ove Grasbakken

6.1 Innledning

Det norske meteorologiske institutts måleprosjekt i det planlagte flyplassområdet på Hurum var i drift fra desember 1988/januar 1989 og ble avsluttet 31. mars 1990. 30 år etter presenteres det fortsatt i media spekulasjoner om feil på siktmålere og manipulering av måleresultatene – senest i TVNorges produksjon «Mannen som falt» i januar 2020.

1 Først utgitt som MET Info nr. 25/2020, ISSN 1894-759X, Oslo, 30.11.2020.



Figur 6.1 Siktmåler på St. Hansberget. Foto: Drammen politikammer, 1990.

I denne 30-årsperioden er det fremkommet en rekke uriktige påstander om måleprosjektet på Hurum i aviser og media. De mest alvorlige er presentert i NRK-programmer på slutten av 1990-tallet og i flere bøker. Og nå i 2020 om Jan Wiborgs engasjement rundt siktmålingene på Hurum gjennom seks episoder av TVNorges produksjon.

Siden myter, spekulasjoner og konspirasjonsteorier fortsatt lever nå 30 år etter, har Meteorologisk institutt ønsket å gå gjennom hendelsene for å dokumentere og vurdere arbeidet som ble gjort, og de eksterne vurderinger og granskninger av arbeidet. Vi ønsker også å sammenfatte en vurdering av påstandene som er rettet mot vårt arbeid. Vi håper med dette å bidra til en offentlig, faktabasert informasjonskilde for de som fortsatt er interessert i arbeidet som lå bak «Værmessig tilgjengelighet for en flyplass 290 m o.h. på Hurum» (Harstveit mfl., 1990). Det er ønskelig fra Meteorologisk institutts side at de som var ansvarlige for måleprosjektet og analysearbeidet presenterer vurderingen og sammenfatningen.

I dette dokumentet bruker vi forkortelsen «DNMI» for Det norske meteorologiske institutt (nå Meteorologisk institutt), som var i bruk i tidsperioden omkring måleprosjektet, og som derfor finnes i kildematerialet fra den gang.

6.2 Oppdraget fra Luftfartsverket

Ideen om en flyplass på Hurum oppsto allerede på 1950-tallet, men denne løsningen ble vraket av en flyplasskomité i 1959, bl.a. på grunn av værforholdene. Komiteen gikk inn for en delt løsning mellom Fornebu og Gardermoen. Hurums tilhengere økte i antall utover på 60-tallet. En ny flyplasskomité ble nedsatt i 1968. Hurum var her ett av fem alternativer for ny hovedflyplass. Komiteen gikk inn for Hobøl i 1971, og Hobøl ble så valgt som sted for ny hovedflyplass av Stortinget i 1973. Arealer ble båndlagt. I 1977 kom stortingsmeldingen om sivil luftfart. Den gikk inn for delt løsning Fornebu/Gardermoen. I 1983 gikk derfor myndighetene inn for Fornebu/Gardermoen. Båndlegging av arealer i Hobøl ble opphevet i Stortinget i 1984. I 1985 ga Luftfartsverket to konsulentfirmaer oppdraget med å utrede Kroer (Ås), Hobøl, Hurum og Gardermoen som alternativer til Fornebu/Gardermoen. Resultatet ble to alternativer, Hurum og Gardermoen. I flyplassmeldingen av 5. juli 1987 gikk samferdselsminister Kjell Borgen inn for Gardermoen. SAS og Braathens SAFE gikk sterkt ut til fordel for Hurum.

8. juni 1988 valgte Stortinget Hurum som sted for bygging av storflyplass etter en intens dragkamp mellom Hurum- og Gardermoen-tilhengere. I forkant av stortingsvedtaket ga DNMI, i et møte i Stortingets samferdselskomité, to sterkt motstridende beskrivelser av siktforholdene på Hurum. Flymeteorologisk avdeling ga en beskrivelse av siktforholdene basert på en kort måleserie, uten noen korreksjoner, fra et svært skjernet målested ved Stikkvann. Resultatet var lav hyppighet av tett tåke på Hurum. Denne presentasjonen ble godt mottatt av samferdselskomiteen. Direktørens beskrivelse av siktforholdene, basert på 30 år lange, visuelle observasjonsserier fra Oslofjord-regionen, utarbeidet av Klimaavdelingen, viste langt hyppigere forekomst av tett tåke. Dette ble ikke tillagt samme vekt av samferdselskomiteen.

Denne interne uenigheten mellom Flymeteorologisk avdeling og Klimaavdelingen ved DNMI ble dessverre ikke avklart. Uenigheten ble offentlig kjent, og la grunnlag for mange av de uriktige påstandene som har heftet ved Hurum-prosjektet helt frem til i dag.

I etterkant av Stortingets beslutning 8. juni 1988 fikk DNMI i oppdrag å kartlegge detaljer i hyppighet av lav sikt, vind og vindretning, samt hvilke vindretninger som var typiske ved dårlig sikt. I tillegg skulle forhold

som kunne medføre glatte rullebaner kartlegges. Sammen med de naturgitte topografiske forholdene på Hurum ville dette ha betydning for planlegging av rullebaneplasseringer på åsen.

6.3 Måleprosjektet på Hurum

DNMI gjorde en grundig foranalyse for hvilke instrumenter som skulle velges og hvor de skulle plasseres (Andresen og Harstveit, 1988a). Bygging av ny flyplass i dette området ville medføre utjevning og glatting av terrenget. Det var derfor nødvendig å sette utstyret på tre steder slik at de ikke ble skjermet av høyereliggende skog og åser som senere skulle fjernes. Dette betydde at det måtte måles litt høyere enn planlagt rullebane på 290 moh. DNMI var av den mening at det er lettere å korrigere for en høydeforskjell i et område som er preget av små, lokale forskjeller enn å korrigere for skjermende terreng og vegetasjon. Enhver sammenligning av data med meteorologiske modeller vil også bli best dersom målingene er mest mulig uavhengig av lokale forstyrrelser i området nær målestedet. Denne filosofien er sentral ved utredning av klimaforhold i komplekst terreng.

Det ble valgt ut tre steder for måling: Stikkvannskollen i nordvest (350 moh.), Nilsåsen i nordøst (350 moh.) og St. Hansberget (ikke med i den opprinnelige planleggingen) i sør (310 moh.). Stedene ble valgt slik at målingene best mulig skulle representere en ferdig flyplass.

En kortere måleserie fra Stikkvann (250 moh.) fra september 1986 til november 1987 (Andresen og Harstveit, 1988b) antydte lavere tåkeforekomst enn det som ble funnet ved bruk av skyhøydedata fra Fornebu (Andresen, 1987). Forskjellen gjenspeiler skjermingen fra omgivelsene nær Stikkvann. Måleren ble likevel beholdt for parallellmålinger og for å øke forståelsen av siktvariasjoner i et komplekst område.

Med sikt menes den største avstand der en svart gjenstand kan skjernes fra omgivelsene. Vi snakker da egentlig om visuell sikt. Når vi måler med instrument betegnes målt sikt som MOR, Meteorological Optical Range. Dette er da definert som den avstand der minst 5 % av restlyset som sendes ut fra en lyskilde, er til stede. Dette ligger gjerne litt lavere enn visuell sikt. (Bemerk at visuell sikt har en viss variasjonsbredde fordi øyets følsomhet varierer mellom observatørene.) Alle siktmålingene på Hurum har foregått



Figur 6.2 Siktmåler (sender) på Stikkvannskollen (radiotårn i bakgrunnen mot nord). Foto: Drammen politikammer, mars 1990.

med den fremste teknologi på feltet. Sikten ble målt med et transmissometer, et instrument som består av en sender og en mottaker av lys med avstand valgt til 45 m på Hurum.

For også å se på forskjeller i skyhøyde ble det satt opp skyhøydemåler ved Stikkvann (250 moh.), på et område vest for Nilsåsen (275 moh.) og ved Vingården i sør (100 moh.). Vindretninger ble målt i to master ved Stikkvannskollen og Nilsåsen, med sensorer i 10, 18 og 30 m høyde over bakken. I tillegg ble det målt nedbør, lufttemperatur og luftfuktighet for å kunne si noe om risikoen for glatte rullebaner og vinterdrift av plassen.

Måleprosjektet startet høsten 1988 og gikk fram til våren 1990. Perioden januar 1989 til mars 1990 ble benyttet i analysen. Målingene på Stikkvannskollen hadde kun noen korte avbrudd på grunn av tyveri, lynnedslag eller andre tekniske feil.

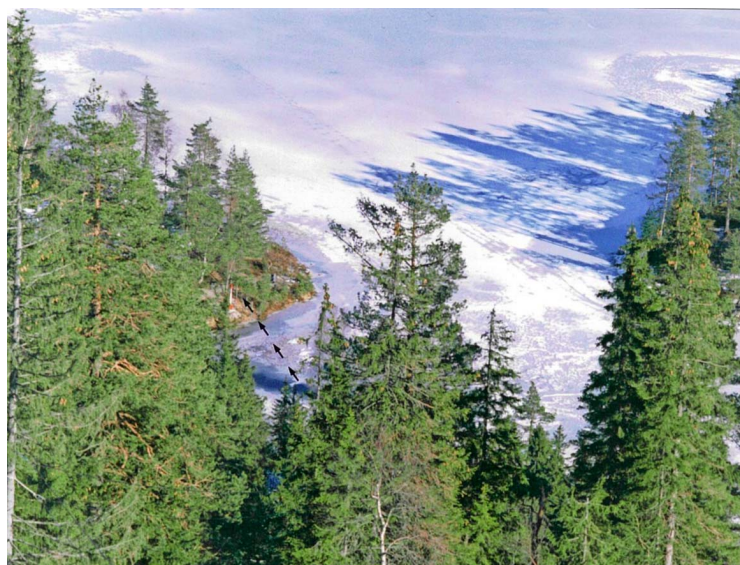
Det var DNMI's konklusjon at måleresultatene på Hurum hadde nødvendig representativitet i tid og rom, og var av god kvalitet til å svare på spørsmålene som utstyret var satt opp for (Harstveit mfl., 1990). Disse

forhold ble senere bekreftet og støttet av flere uavhengige institusjoner og granskningskommisjoner.



Figur 6.3 Siktmåler Stikkvannskollen (mot sørøst fra radiotårn).

Foto: Drammen politikammer.



Figur 6.4 Siktmåler Stikkvann (mot nordøst fra radiotårn).

Foto: Drammen politikammer.



Figur 6.5 Siktmåler og skyhøydemåler (bakre pil) ved Stikkvann (mot nord).
Foto: Drammen politikammer.



Figur 6.6 Skyhøydemåler ved Stikkvann (mot sørvest).
Foto: Drammen politikammer.



Figur 6.7 Siktmåler og vindmast på Nilsåsen (mot nord).
Foto: Drammen politikammer.

6.4 Beskrivelse av tåkeforhold i Oslofjordområdet

Tåke er en synlig samling av små vanndråper eller iskrystaller som svever i luften umiddelbart over bakken og gir sikt under 1000 m. Typisk sikt i tåke er i størrelsesorden 100 m, men ned mot 30 m er ikke uvanlig. I prinsippet er tåke det samme som en sky omkring oss.

6.4.1 Forskjellige typer tåke

Tåke dannes ved at luft avkjøles slik at luften mettes, dvs. at vanndampen i luften kondenseres. Omkring lavtrykk løftes luftmasser opp og avkjøles siden lufttemperaturen avtar med høyden, og det dannes skyer. Over land vil dette gi tåke over en viss høyde. Luftmasser som beveger seg fra havområder og inn over land, kan gi tåke, eller at tåken fortettes ved prosesser som er viktig å legge merke til:

Adveksjonståke dannes ved at relativt varm og fuktig luft strømmer inn over kaldere underlag og avkjøles. Adveksjonståke kan for eksempel forekomme om høsten og vinteren når fuktig sjøluft avkjøles over kaldere landområder. Luften vil også avkjøles når den løftes opp over åser og fjell og vil da betegnes som *orografisk tåke*. Slik tåke forekommer i situasjoner med fuktig luft og vind, ofte i forbindelse med nedbør. Tåken blir hele tiden fornyet ved transport av fuktig luft som avkjøles.

Adveksjonståke i form av *orografisk tåke*, også kalt skytåke, er den typiske tåka som kan ses over åsene omkring Oslofjorden. Tryvasshøgda dekkes vanligvis av slik tåke i situasjoner med nedbør og tilførsel av fuktig luft fra sør. Denne tåka er også ofte å se i Holmenkollen. Den legger seg også ofte på åsene på Hurumlandet.

Strålingståke dannes særlig om natten og morgenen når bakken avkjøles ved utstråling i rolig skyfritt vær. Tilførsel av vanndamp fra fuktighetskilder som er varmere enn luften, kan også gi tåke (frostrøyk).

Tåka på Fornebu skyldes ofte at strålingståke dannes lokalt over Fornebulandet delvis pga. høy luftfuktighet nær fjorden. Men tåka kan også skyldes frostrøyk eller tåkeflak i fjorden som siger innover Fornebulandet. Tåka på Gardermoen kan i noen tilfeller være strålingståke dannet lokalt, men kan også være adveksjonståke som skyldes fuktig luft som kommer inn fra fjorden eller større innsjøer i nærheten.

6.4.2 Tåkehyppighet i Oslofjord-området

Det har vært utført siktobservasjoner i en årrekke både på Gardermoen, Fornebu og Tryvasshøgda. Av disse observasjonene framgår det at tåkehyppigheten i årsgjennomsnitt for perioden 1957–88 ligger på 2,2 % på Fornebu og 4,9 % på Gardermoen (Andresen og Kjensli, 1990). For Tryvasshøgda ligger årsgjennomsnittet for perioden 1957–86 på ca. 23 % (Andresen, 1987, figur 6.4). Orografisk tåke er altså mye vanligere enn strålingståke. Men hyppigheten varierer med høyde over havet og grad av skjerming. Derfor er det ikke like mye tåke på Hurumåsene (300–350 moh.) og Holmenkollen (ca. 325 moh.) som på Tryvasshøgda (ca. 530 moh.).

Tåke som strømmer inn over et landskap, vil også løses opp nær bakken, særlig i skog og på le-siden av åser. Dette skyldes flere effekter, men avsetning av dråper på trærne er en viktig effekt. Dette blir særlig tydelig på le-siden av skogkledde åser. Denne skjermingseffekten gjør at det blir mye mindre tåke nede på Tryvann (400 moh., Oslomarka) enn ved Holmenkollen på lo-siden av åsen.

Ved Fornebu har det vært gode observasjoner av høyden opp til skydekke i en årrekke. Her ser vi også en sammenheng. Tåka på Tryvasshøgda er tettere dess lavere skyhøyden på Fornebu er. Det kan dog finnes noen tilfeller med et lavt tynt skylag (stratuslag), som gjør at Tryvasshøgda ligger over skyene.

Ved bruk av disse data var det mulig å beregne omtrent hvor ofte det er tåke på eksponerte høydedrag 250–300 moh. i Oslofjord-området. Dette ble da benyttet i to DNMI-rapporter, i 1987 (Andresen, 1987) og i 1988 (Andresen og Harstveit, 1988b), som et anslag ved en planlagt flyplass på et åpent og utjevnet område på Hurum. Men selv om tåkefrekvensen var noenlunde godt bestemt, var det store usikkerheter i anslaget på hvor *tett* tåka var, og dette har stor betydning for oppetid og drift av en mulig flyplass.

6.5 Beregningsmetoder og analyse av måledata

6.5.1 Modell for beregning av sikt i andre høydenivåer enn målt

DNMI utviklet en modell, i samarbeid med Universitetet i Bergen, for å korrigere for høydeforskjell i siktfrekvens i orografisk tåke på representative steder i samme område. Denne modellen bygger på at mengden av skyvann øker når fuktig luft heves. Fysiske ligninger kobler denne økningen til redusert sikt (Gjessing mfl., 1990). Modellen ble testet fra Stikkvannskollen til St. Hansberget, fra 350 til 310 moh., og siktfrekvens ble deretter beregnet for fremtidig rullebanenivå 290 moh.

6.5.2 Omregning av resultater for måleperiode til langtidsperiode

I august 1989 viste måleresultatene at frekvensen av tåke var omtrent som tidligere rapportert, men at frekvensen av meget lav sikt var vesentlig større (Andresen og Harstveit, 1987). Når det måles i en kort periode, kan måleserien utvides til å representere en lengre periode ved å koble den til lange dataserier i nærheten. Dette er en helt vanlig metode når målekampanjer benyttes for å utrede klimatiske forhold. Eksempelvis kan dette være vindmålinger for beregning av vindkraftpotensial, utredning av vind, temperatur eller nedbørforhold i et område. Saken er at været som kjent svinger fra år til år, men denne svingningen går i takt i nærliggende områder. Denne beregningen ble gjort av Norsk Regnesentral (Aldrin og Bølviken, 1990) som benyttet moderne statistiske metoder for å utnytte langtidsmålinger av sikt og skyhøyde fra Rygge, Fornebu og Tryvasshøgda (referansesteder), og samtidige målinger på Stikkvannskollen og de tre referansestedene. Slik er spesielle værforhold i måleperioden, som en særskilt mild vinter med luftmasser fra sør, korrigert for ved at statistikken gjelder for værforholdene i tidsperioden 1957–1989.

6.5.3 Omregning av visuell sikt til rullebanesikt

Operasjoner på en flyplass er avhengig av flere værparametere. På Hurum er frekvens av horisontal sikt den klart største værbegrensningen. Sikten på flyplassen er avhengig av hvor godt synlig rullebanelysene er. Denne typen sikt, rullebanesikt, kunne ikke måles direkte fordi den avhenger av bakgrunnsbelysningen og styrken på rullebanelysene. Derfor måtte den beregnes ut fra målt visuell sikt. Vanlig tommelfingerregel tilsier at rullebanesikten er to til fire ganger visuell sikt, og at forskjellen er størst om natta.

En mer nøyaktig metode benytter en formel der lysstyrken på planlagte rullebanelys og bakgrunnsbelysningen legges inn. Lysstyrken ble innhentet fra Luftfartsverkets planlagte flyplassdata, og bakgrunnsbelysningen ble hentet fra målinger på Ås. Dette ga gode anslag for rullebanesikten på en ferdig flyplass på Hurum (Harstveit mfl., 1990).

6.6 Kvalitetssikring

6.6.1 Innsamling av data – kvalitetsrutiner ved DNMI

Målingen av alle de meteorologiske parameterne på Hurum ble gjort for å kunne svare på oppdraget fra Luftfartsverket. I tillegg ble det gjennomført en kontroll- og overvåkingsprosedyre der sammenhengen mellom måleverdiene ble vurdert. Det var for eksempel lett å avsløre om siktmålerne ble tilsmusset: Det skal være en meteorologisk konsistent sammenheng mellom fuktighet, skyhøyde, temperatur og vind, og innbyrdes forskjell mellom målingene skal ha et troverdig forløp.

Det er verd å merke seg at alle dataseriene ble målt med oppløsning på 10 min eller bedre, og alle data utenom skyhøydemåleren ved Vingården ble tilkoblet en innsamlings-PC ute i feltet og automatisk forsendelse av data via GSM-nettet ble foretatt to ganger per døgn. Data ble gjennomgått hver morgen på arbeidsdager ved DNMI. Fjernstyringsprogramvare gjorde det mulig å følge med på innsamlings-PC i sanntid, og ble også benyttet på hjemme-PC ved spesielle behov utenom arbeidstid. Alle linser ble hyppig sjekket og rengjort ved behov, avhengig av værforholdene, og i henhold til leverandørens anbefalinger. Reduksjon i signal ved god sikt, på grunn av naturlig tilsmussing av linser, ble hurtig oppdaget. Det ble gjennomført analyser som viste at tilsmussing aldri var av en slik karakter at den influerte nøyaktigheten av

måling av lav sikt i tåke. Dette fordi det naturlige smusset reduserte signalet langt mindre enn det som er kravet til nøyaktighet av målerne.

Siktmålerne på Hurum var plassert med sender og mottaker 45 m fra hverandre. To forhold er viktige ved slike målinger: For det første må glassene være rene, slik at det ikke tapes signal der, dernest må kalibreringen være utført og vedlikeholdt. Lyssignalet ble målt ved elektrisk signal, og kalibrert mot den fysiske størrelse som er årsaken til signalet. Samme prinsipp er vanlig i moderne vindmålere, temperaturmålere osv.

Det kan oppstå drift i kalibreringsfunksjonen i siktsensorene. Kalibrering ble først utført hos fabrikanten (Impulsphysik), dernest av DNMI ved mottak og ved utplassering. Deretter halvårlig, som anbefalt av fabrikanten. Det ble benyttet eksterne filtre for å kontrollere instrumentets kalibreringskurve. Ved hjelp av et internt filter ble også fotodioden kontrollert sammen med detektor og forsterker for å sjekke om det er drift i instrumentet. Teknikere fra Impulsphysik kontrollerte kalibreringen av siktmålere på Stikkvannskollen ved utplassering høsten 1988, og senere kalibrering av siktmålere og installasjonen av skyhøydemålere i oktober 1989.

DNMI fulgte alle angitte rutiner, og kalibreringene i felt ble ledet av kvalifisert personell i DNMI's instrumentavdeling med lang erfaring fra slikt arbeid på norske flyplasser.

I tillegg kommer igjen et viktig moment ved all kvalitetskontroll: aktiv bruk og ettersyn av data. Ingen av disse undersøkelsene viste store avvik i kalibreringene. Konklusjonen er at DNMI har levert gode, pålitelige data i måleprosjektet.

6.6.2 Ekstern kvalitetssikring – Styringsgruppen (Hafnor-utvalget)

Etter avtale med Luftfartsverket leverte DNMI statusrapporter om siktforholdene på Stikkvannskollen hver måned fra og med mai til og med september, alle dekket de perioden fra januar til utgangen av foregående måned. Den siste av disse (Andresen og Harstveit, 1989) dekket perioden 5. januar–31. august 1989 og var mer utførlig enn de foregående og inneholdt analyser og vurderinger i langt større grad. Rapporten konkluderte med at siktforholdene på Hurum var betydelig dårligere enn tidligere antatt.

Rapporten førte til mye kritikk i media og stor uro i det politiske miljøet.

Luftfartsverket (LV) og Samferdselsdepartementet ble i fellesskap enige om at LV skulle oppnevne en styringsgruppe for å gjennomgå opplegget for vær-målingene og vurdere resultatet. Styringsgruppen ble oppnevnt 28. oktober 1989, og skulle fremlegge sin rapport innen 1. februar 1990 for Luftfartsverket.

Styringsgruppen skriver i sin rapport om bakgrunnen for arbeidet (Hafnor mfl., 1990):

- Da Stortinget i 1988 traff sin beslutning om lokalisering av ny hovedflyplass på Hurum, var dette bl.a. basert på opplysninger om værmessig tilgjengelighet gitt i St.melding nr. 43 (1987–1988). Værmessig tilgjengelighet var beregnet ut i fra statistisk behandling av skyhøydeobservasjoner ved Fornebu og Rygge, observert sikt ved værstasjonene Tryvasshøgda og Egnerfjell, samt siktmålinger ved Stikkvann (ca. 250 m o.h.).
- St.meld. nr. 43 understreket at værinformasjonene var usikre, både fordi siktmålingene (målingene fra september 1986 – november 1987) ble foretatt ca. 50 m lavere enn fremtidig rullebane, målingene var foretatt over et relativt kort tidsrom og, ikke minst, fordi terrengmessig avskjerming av siktmåleren ved Stikkvann ga siktverdier som var bedre enn de en kunne regne med ved en fremtidig rullebane.
- Etter lokaliseringsvedtaket i 1988, ble det derfor besluttet å foreta supplerende meteorologiske målinger på Hurum som støtte for det videre planleggingsarbeidet.
- I forbindelse med oppdatering av Hurum-prosjektet høsten 1989, ble DNMI anmodet om å foreta en foreløpig oppsummering av sikt- og vindmålingene så langt. Av DNMI rapport 27/89 Klima av 14. september 1989 fremgår: – at siktforholdene på Hurum er dårligere enn tidligere antatt.
- på grunnlag av målingene for perioden januar – august 1989 ble værmessig tilgjengelighet beregnet for en tenkt rullebane i 350 m høyde (Stikkvannskollen) ... Denne avvek klart fra de tidligere beregningene. Derfor besluttet regjeringen 6. oktober 1989 å bremse omfanget og tempoet i den videre planleggingen av hovedflyplassen inntil man hadde foretatt en grundig vurdering av målingene og foretatt en ny oppsummering av dem i januar/februar 1990.

Styringsgruppen ble ledet av Ole-Andreas Hafnor fra Veritas, og hadde medlemmer fra LV, SAS, Braathens SAFE og DNMI. Gruppen skulle gjen-

nom undergrupper sørge for verifikasjon av målemetoder og måleresultater (Verifikasjonsgruppen) og utrede driftsoperative forhold som lufttrafikkregulering, bakkeoperasjoner og flyoperative forhold (Driftsoperativ gruppe). I dette arbeidet skulle man knytte til seg nødvendig, ekstern ekspertise. Verifikasjonsgruppen (eller Kontrollgruppen som den også ble kalt) ble ledet av en kvalitetssikringsekspert med SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) som rådgiver. Disse kom i fellesskap frem til en betydelig ekstern ekspertise, som skulle utrede deler av problemkomplekset. Det ble hentet utredninger fra:

- Universitetet i Bergen, Geofysisk institutt
- Stockholms universitet
- Uppsala universitet
- The Meteorological Office, Storbritannia
- Luftfartsverket, Sverige
- Civil Aviation Authority, Storbritannia
- Royal Aerospace Establishment, Storbritannia
- Deutscher Wetterdienst, Tyskland
- U.S. National Weather Service, USA
- Atmospheric Environment Service, Canada
- The University of Manchester, Institute of Science and Technology, England

Styringsgruppen leverte sin rapport 31. januar 1990 (Hafnor mfl., 1990).

I tillegg til ordinær verifikasjon av måleprosjektet ble det utført et omfattende arbeid for å finne best mulig metodikk for beregning av værmessig tilgjengelighet i fremtidig flyplassnivå 290 moh.

Styringsgruppen konkluderer i sin rapport (Hafnor mfl., 1990):

- Styringsgruppen konstaterer at det er et klart avvik mellom den værmessige tilgjengeligheten man kommer frem til basert på de målingene som er gjennomført i 1989 og den værmessige tilgjengeligheten som angis i Stortingsmelding nr. 43 (1987–1988).
- Selv om verifikasjonsarbeidet viser at det er en viss usikkerhet knyttet til den værmessige tilgjengeligheten som DNMI har beregnet, anser Styringsgruppen at de meteorologiske dataene fra DNMI er tilstrekkelig pålitelige til å danne et

forsvarlig grunnlag for beregning av operative konsekvenser for en hovedflyplass på Hurum.

Styringsgruppen presenterte resultatet fra de operative vurderinger i form av værmessig tilgjengelighet for en fremtidig flyplass.

Det ble også anbefalt noen utvidelser i måleprogrammet for et års videre drift for å fremskaffe mer pålitelige data.

DNMI utarbeidet en rapport oppdatert med måledata frem til 31. mars 1990, «Hurum – Værmessig tilgjengelighet for en flyplass 290 moh.» (Harstveit mfl., 1990).

Våren 1990 ledet politiske prosesser frem til stortingsvedtak 1. juni der planlegging av hovedflyplass på Hurum umiddelbart ble stoppet, og måleprosjektet avsluttet. Resultatet av måleprosjektet på Hurum var grunnen til dette. Utredning av hovedflyplass på Gardermoen ble vedtatt.

6.6.3 Ekspertgruppen – Surlien-utvalget

Hurum-forkjempere engasjerte i 1990/1991 (Smith mfl., 2001, s. 154–155) sivilingeniør Jan Fredrik Wiborg til å analysere siktmålingene på Hurum. Wiborgs revisjonsrapport konkluderte med at siktmålerne var manipulert og at siktmålerne derfor målte for lav sikt. Dette fikk stor medieoppmerksomhet.

I Aftenpostens artikkel fra 2. oktober 1999, «En samfunnsfiende» (John Hultgren, Pål Enghaug), finner vi informasjon som gir innblikk i bakgrunnen for oppnevningen av Surlien-utvalget:

2. juni 1992 sender direktør ved DNMI Arne Grammeltvedt brev til Kirke-, undervisnings- og forskningsdepartementet (KUF) med ønske om at det blir reist et statlig injuriersøksmål mot Jan Fredrik Wiborg. Brevet er internt og offentliggjøres aldri. 16 dager senere møtes styret i DNMI. På dette møtet stiller styret seg bak direktøren. Det er en samlet institusjon som går inn for et statlig injuriersøksmål.

DNMI mener at Wiborgs revisjonsrapport og notater inneholder sterkt injurierende utsagn om tjenestemenn som har ansvaret for de meteorologiske instrumentene på Hurum, og har innhentet og bearbeidet målingene. Styret ber departementet arbeide for at en granskning ledes av politi/påtalemyndighet.

... KUF setter opp følgende punkter for og imot et injuriersøksmål fra staten:

– For: «Personalansvaret overfor DNMIIs medarbeidere kan tilsi at vi stiller opp når det rettes beskyldninger mot dem.»

– Mot: «beskyldningene er basert på teknisk/faglige teorier, noe som gjør det vanskelig å vurdere både Wiborgs påstander og DNMIIs motargumenter uten å konsultere nøytral ekspertise. En rettssak vil måtte føre til en teknisk gjennomgang av saken som nærmest vil ha karakter av en gransking (som DNMI også ber om).»

23. juli 1992 sender departementet det formelle brevet til DNMI som forteller at de avslår ønsket om injuriersøksmål mot Wiborg.

Fem dager tidligere, 17. juli 1992, oppnevner Samferdselsdepartementet et utvalg bestående av tre personer som skal granske Wiborgs konklusjoner om Hurum-målingene, etter krav fra Stortinget.

Utvalget, Ekspertgruppen, ble ledet av lagmann Rakel Surlien ved Eidsivating lagmannsrett. En seniorforsker ved SINTEF Sikkerhet og pålitelighet, en direktør ved SINTEF DELAB og en professor og avdelingssjef ved SINTEF Anvendt fysikk gjorde det praktiske arbeidet. Bakgrunnen for oppnevningen var at Stortingets vedtak 18. juni 1992 ba regjeringen om «å få gjennomført en uholdt gjennomgang av siv.ing Jan Wiborgs revisjonsrapport m/vedlegg når det gjelder anvendelse av ISO 9001 og kalibreringsavvik på grunn av eventuell feil innstilling og bruk av måleinstrumentene. Vurderingen forutsettes gjennomført av uavhengige eksperter.» Sitatet er gjengitt i kapittel 1.1 i Surlien-utvalgets rapport (Surlien mfl., 1992).

Ekspertgruppens rapport ble levert Samferdselsdepartementet 18. november 1992 (Surlien mfl., 1992) der hovedkonklusjoner i kapittel 2 var:

1. De konstaterte avvikene i forhold til NS-ISO 9001 og hovedprinsippene for kvalitetssikring er ikke av slik karakter at det er grunnlag for å trekke i tvil konklusjonene i Styringsgruppens rapport.
2. Det er ikke belegg for at feil kalibrering, innstilling eller bruk av siktmålerne på Hurum har funnet sted. Usikkerheten i målingene og de etterfølgende beregningene er ikke så store at det er grunnlag for å trekke i tvil Styringsgruppens konklusjon vedrørende den værmessige tilgjengeligheten.

Ekspertgruppen baserte hovedkonklusjonen på en rekke delkonklusjoner (a–h) i samme kapittel. Delkonklusjon h gjelder spørsmålet om DNMI's deltakelse i Styringsgruppen:

- h. Styringsgruppens troverdighet med hensyn til uavhengighet ble svekket av at DNMI, og spesielt fagsjef Bjørn Aune, var medlem av Styringsgruppen. Uavhengig meteorologisk kompetanse må antas å ha vært tilgjengelig, både i Norge og i utlandet. DNMI burde således ha avstått fra deltakelse i Styringsgruppen. Ekspertgruppen finner imidlertid ikke at fagsjef Aunes deltakelse i Styringsgruppen har innvirket på resultatet.

Siden troverdighet er et grunnleggende tema, så skulle Meteorologisk institutt gjerne unngått denne problemstillingen. Under stort tidspress sent på høsten 1989 trengte Samferdselsdepartementet å få sikkerhet for at resultatene man da satt med, var holdbare. Man vant tid ved at Styringsgruppen satt med kompetanse som var tett på arbeidet i prosjektet, men det svekket nok troverdigheten. Organiseringen av styringsgruppens arbeid, og bred internasjonal deltakelse som vist i kapittel 6.6.2, gjorde at Surlien-utvalget allikevel kunne konkludere på at resultatet sto seg.

6.6.4 Stortingets avsluttende gjennomgang av flyplassaken – Smith-kommisjonen

Stortinget nedsatte 4. april 2000 en granskningskommisjon med følgende mandat, gjengitt i Dokument nr. 18, kapittel II 1. Kommisjonens mandat (Smith mfl., 2001):

... å foreta en bred gjennomgang av utredning, planlegging, prosjektering og utbygging av ny hovedflyplass for Østlandet og Gardermobanen. ...

Kommisjon ble ledet av professor Eyvind Smith (Universitetet i Oslo), som leverte sin rapport «Dokument nr. 18 (2000–2001)» til Stortinget i våren 2001 (Smith mfl., 2001).

Smith-rapporten sier tydelig at kjernen i saken er mistillit i samspillet mellom politikk, interesser og kunnskapsinnhenting.

Omfattende mistenkeliggjøring i NRKs Brennpunkt i 1999 mot måleprosjektet på Hurum, og særlig med påstander om at Wiborgs dødsfall

i København var et drap, er uttrykk for denne mistilliten. Den ble også sterkt uttrykt i media og bøker, da og senere.

I hovedsak ble måleprosjektet på Hurum, men også sprikende rapportering til myndighetene og intern uenighet ved DNMI, en sentral del av granskningen. Andre viktige prosesser, politiske og faglige, ble behandlet bredt i granskningen.

Kommisjonen konkluderer i Dokument nr. 18 VI 11. Sammenfatning (Smith mfl., 2001): «at det ikke ble benyttet illegitime metoder i den del av prosessen som ledet frem til stortingsvedtaket 1. juni 1990 som gjelder ‘tåka på Hurum’.»

6.7 Uriktige påstander om Hurum-prosjektet

Gjennom en periode på over 30 år er det gjennom aviser og media fremkommet en rekke uriktige påstander om måleprosjektet på Hurum. Vi vil her kommentere de mest utbredte og alvorligste påstandene.

6.7.1 Måleinstrumentene på Hurum var plassert feil

Det ble fremsatt påstander om at målestedene var valgt for å eksponere instrumentene mest mulig for vær og vind, slik at måleresultatene skulle vise værforhold som var mye verre enn for den planlagte flyplassen.

De planlagte rullebanene på Hurum skulle opprinnelig ligge 300 m over havet på de to høyeste åsryggene på Hurumlandet. Terrenget skulle utjevnes og åsene «høvles ned» til 300 m nivå. DNMI valgte å sette siktmålerne på Stikkvannskollen og Nilsåsen, 350 moh., altså 50 m over planlagt rullebanenivå fordi en lavere plassering ville gitt terrengskjerming og ikke representative måleverdier for en flyplass på toppen av Hurumlandet. Slik vi målte fikk vi representative verdier for 350 m-nivået på Hurum. Disse verdiene ga lavere tilgjengelighetstall enn for en ferdig utbygd flyplass 50 m lavere. Men en siktmåler på St. Hansberget 310 moh. ga oss mulighet for å korrigere tallene ned til flyplassnivå.

Da de første måleresultatene fra Stikkvannskollen ble rapportert, og man så hvor vanskelig tåkeforholdene var, besluttet Luftfartsverket (LV) å planlegge for en flyplass 10 m lavere, altså 290 moh. Dette ville ikke innvirket på de nevnte stedsvalg for målinger i avsnittet ovenfor.

Påstanden er derfor ikke riktig. Flyplassen ville bli liggende på toppen av Hurumlandet, og ville bli svært utsatt for vær og vind, også i 290 m-nivå. Forskjellen i verdier mellom målenivå og flyplassnivå ble det korrigert for.

6.7.2 Siktmålerne var tidvis dekket av plastikk, påført vaselin

Dette var en påstand som ble fremsatt i Aftenposten 10. mars 1990. Påstanden ble begrunnet med at en person hadde hørt at noen ungdommer hadde snakket detaljert om at de hadde gjort dette. «Dersom det ikke har vært sabotasje på instrumentene, har Hurum verdens verste vær», ble det hevdet. «Det tror ikke Norsk Flygerforbund noe på!»

Intervjuobjektet anmeldte selv måleprosjektet på Hurum til Drammen politikammer. Politiet tok anmeldelsen svært alvorlig. Det ble foretatt 33 vitneavhør, tekniske undersøkelser på Hurum og innhenting av opplysninger fra DNMI (Drammen politikammer, 1990).

Politiets konklusjon (Drammen politikammer, 1990): «Ut i fra politiets etterforskningsarbeide har det ikke fremkommet noen opplysninger som kan tyde på at det har foregått mer eller mindre organisert manipulering eller sabotasje mot DNMI's målestasjoner på Hurum-landet.»

Intervjuobjektet som Aftenposten refererer, har trolig ment «verdens verste tåkeforhold på en flyplass». Det kan hende det er riktig for Hurum, vi vet ikke sikkert. De fleste flyplasser ligger lavt i terrenget, eller i et lavland skjermet av høyereliggende terreng, og dermed i noen grad utsatt for strålingståke. Det er mer sjelden at flyplasser er plassert på toppen av en åsrygg som er svært godt og hyppig eksponert for fuktighet fra et stort, nærliggende fjordområde. På Hurum får man i tillegg en orografisk effekt som senker skylaget inn over åsryggen (se kapittel 6.4).

6.7.3 Hvor er det påståtte «tåkehavet» på Hurum?

En politiker sa det slik i Aftenposten 20. april 1990: «Eg har jamn kontakt med flygarar og ferdafolk som dagstøtt passerer Hurum uten å kunne sjå noko nemnande til dette berømmelege tåkehavet.» Dette var et apropos til påstanden om verdens verste tåkeforhold, nevnt ovenfor. Det kunne ikke være så tett tåke som DNMI rapporterte. Og sannhetsvitnene for denne oppfatningen var folk som daglig kjørte forbi flyplassområdet, de hadde ikke sett noe til denne tåka.

Veien mellom Sætre og Svelvik går i en høyde som er ca. 150 m lavere enn den planlagte flyplassen, 290 moh. Når skyene i området ligger et godt stykke over riksvei 289, men under flyplasshøyde, vil ikke en trafikant oppleve tåke, men for en turgåer på Stikkvannskollen er tåka tett. Dette kan sammenlignes med tåka i Holmenkollen, ca. 325 moh. Det er flere eksempler på at skiskytingskonkurranser er blitt stoppet eller avlyst fordi løperne ikke kunne se blinkene på 50 meters avstand. Nede på Ringveien, derimot, var det god sikt, fordi bilistene kjører under tåkehavet oppe i åsen.

Bildet i figur 6.8 viser svenske og norske meteorologer under en befaring på Stikkvannskollen i «dette berømmelege tåkehavet».



Figur 6.8 Bekymrede meteorologer på befaring i Hurum-tåka.

Foto: Knut Harstveit, 1990.

6.7.4 Misvisende Hurum-rapporter fra Klimaavdelingen
Sterk faglig uenighet internt på DNMI om tåkeforhold på Hurum ble offentlig kjent og ga grunnlag for stor oppmerksomhet i media (spesielt i Aftenposten), der deler av rapportene fra Klimaavdelingen ble omtalt som misvisende. For å forstå denne uenigheten så er det nødvendig med litt detaljer. Det forklarer også hvorfor resultatene fra det store måleprosjektet møtte tvil og skepsis hos interessentene for flyplassprosjektet på Hurum.

Flymeteorologisk avdeling ved DNMI hadde frem til mars/april 1988 ansvar for å gi flyværsmessige vurderinger på forespørsel fra Luftfartsverket. For en vurdering av en eventuell flyplass på Hurum ble det foretatt sikt-målinger ved Stikkvann, ca. 250 moh., fra september 1986 fram til mars/april 1988.

Da Klimaavdelingen ved DNMI ble kjent med målingene og resultatene, så man at disse målingene ikke kunne være representative for en fremtidig flyplass på toppen av Hurumåsen, 290 moh. Åsene omkring Stikkvann skjærer i betydelig grad siktmålerne for tåkeskyer, med skybasis under 250 m, som driver innover Hurumlandet. Målingene var derfor heller ikke representative for et fritt eksponert 250 m-nivå på Hurum (Andresen og Harstveit, 1988b). Resultatet stemte ikke med kunnskapen om skyhøyder som tidligere var etablert for Oslofjord-området (også i Flymeteorologisk avdeling ved DNMI).

Vinteren 1987/88 var det sterk uenighet mellom Flymeteorologisk avdeling og Klimaavdelingen om måledataenes representativitet for en fremtidig flyplass på Hurum. Begge avdelinger leverte rapporter om tåkeforholdene på Hurum til LV, og det ble offentlig kjent at konklusjonene vedrørende tåkehypighet, spesielt i tett tåke, avvek i betydelig grad.

Flymeteorologisk avdeling ved DNMI argumenterte for at tåkeforholdene på Hurum ikke ville være til hinder for en flyplass der, basert på statistikk fra en rekke flyplasser i Europa og en uttalelse fra en svensk flymeteorolog om siktførholdene på Landvetter (154 moh.) utenfor Gøteborg. Norsk Flygerforbund hadde et sterkt engasjement for Hurum og sendte Klimaavdelingens rapporter til Sverige for vurdering. Det ble derfor betydelig oppmerksomhet i media (spesielt Aftenposten) om dette. Aftenposten skrev 3. mai 1988: «Svensk rapport støtter Hurum. Værforholdene er ikke til hinder for å velge Hurum som hovedflyplass. Det fremgår av en uavhengig svensk analyse: Rapporter fra Flymeteorologisk avdeling berømmes, mens

deler av rapportene fra Klimaavdelingen omtales som misvisende.» Det kom flere lignende uttalelser fra det flymeteorologiske miljø i Sverige.

Direktøren for DNMI tilbakeviste påstandene i Aftenposten 24. mai 1988:

DNMIs rapporter om Hurum er ikke misvisende. Det norske meteorologiske institutt er i senere tid blitt til dels kritisert og til dels sjikanert, spesielt av Norsk Flygerforbund, fordi Instituttet har utarbeidet tre rapporter om værforholdene på Hurum som ikke helt passer inn i NFFs lobbyvirksomhet for Hurum som hovedflyplass.

DNMIs rapporter er rene klimautredninger, og DNMI foretar ingen flymeteorologiske vurderinger på grunnlag av dataene i rapporten. DNMI har gjennom de rapporter som er utarbeidet om værforholdene på Hurum ikke tatt stilling til hvor en hovedflyplass for Oslo-området bør ligge. Vår oppgave har vært å utarbeide et så fylldig og gjennomarbeidet materiale om værforholdene på Hurum som mulig, sett på bakgrunn av en mangelfull datadekning for området.

Direktøren peker på to viktige forutsetninger for DNMIs utredninger.

1. Rapportene som utarbeides er klimautredninger. Det betyr at konklusjonene skal være gyldige for riktig flyplassnivå (290 moh.) og for et lengre tidsrom (1957–89).
2. Rapportene fra DNMI er upartiske. De argumenterer ikke for et spesielt flyplassalternativ. Det er luftfartsmyndighetene som skal anbefale et egnet stedsvalg overfor de politiske myndigheter.

Hurum-tilhengerne skrev i flere avisinnlegg at siden det var snakk om en flyplassutbygging, så måtte det være Flymeteorologisk avdeling som var best kvalifisert for en slik oppgave. Det skyldtes nok at de ikke hadde kunnskap om DNMIs organisering. Flymeteorologisk avdeling ved DNMI var en operativ værvarslingsenhet med spesialkunnskap om varsling av flyvær ut fra numeriske modeller og observert vær. Ved Klimaavdelingen ble det beregnet gjennomsnittlige værforhold og sannsynlighet for at ulike værphenomen skal opptre, uavhengig av den aktuelle vær-situasjonen. Ofte gjøres dette ved hjelp av kortere måleserier som korreleres med langtidsdata fra nærlig-

gende stasjoner. Men da er det særlig viktig å finne målesteder som er mest mulig representative for den ferdig utbygde flyplassen. Teknisk drift og vedlikehold ble gjort ved DNMI's instrumentavdeling. I avdelingen var det høy kompetanse og lang erfaring i behandling av meteorologiske måleinstrumenter, inkludert slikt utstyr på norske flyplasser.

Etter at Stortinget den 8. juni 1988 besluttet at Hurum skulle prosjekteres som ny hovedflyplass, ønsket Luftfartsverket et nytt måleprosjekt med to automatstasjoner på toppen av Hurumåsen, på Stikkvanskollen og Nilsåsen. DNMI bestemte da at Klimaavdelingen og Instrumentavdelingen skulle ha ansvar for måleprosjektet.

6.7.5 Målingene på Hurum ble ikke gjennomført etter planen

Det ble hevdet, bl.a. i Brennpunkt i NRK (1999), at bare én av tre siktmålere var tatt i bruk og at målingene var avbrutt av strømstans, innbrudd og lynnedslag. Uttalelsen i TV-programmet gir inntrykk av at DNMI ikke fikk samlet tilstrekkelig med grunnlagsdata.

I tillegg til fire siktmålere ble det også satt opp tre skyhøydemålere i et lavere nivå for å kunne måle høyden opp til de aktuelle skyene. Det ble også satt opp en rekke andre måleinstrumenter. Alt måleutstyr var tatt i bruk da Styringsgruppen for prosjektet leverte sin rapport 31. januar 1990 (Aldrin og Bølviken, 1990). Da hadde siktmåleren på Stikkvanskollen og sikt- og skyhøydemåleren ved Stikkvann levert data i 13 måneder. Siktmålerne på Nilsåsen og St. Hansberget leverte data i hhv. tre til fire og to måneder. I DNMI's sluttrapport (Harstveit mfl., 1990) er det også tatt med data fra siktmålerne på Stikkvanskollen, Nilsåsen og St. Hansberget i ytterligere to måneder. Måleresultatene fra Nilsåsen og St. Hansberget bekreftet de lave siktverdiene som ble målt på Stikkvanskollen.

Avbrudd i målingene på grunn av innbrudd skjedde delvis ved pent vær og gode siktforhold, eller hadde kort varighet som strømbrudd ved lynnedslag og andre tekniske feilsituasjoner.

Påstanden om at bare én siktmåler var tatt i bruk er feil. Måleutstyr ble plassert og brukt, og data innsamlet, slik det var planlagt. Påstanden om hendelser med avbrudd i målingene er riktig, men det var altså ingen vesentlige brudd i dataseriene som påvirket resultatet.

Måleserien på Stikkvannskollen var lang nok til en statistisk analyse av måledataene og beregning av gjennomsnittsverdier for langtidsperioden 1957–89, utført av Norsk Regnesentral – STAT/01/90 (Aldrin og Bølviken, 1990).

6.7.6 Usikkerhet i beregningene av værmessig tilgjengelighet

I Brennpunkt-programmet nevnt i kapittel 6.7.5, ble Styringsgruppen som Luftfartsverket (LV) oppnevnte for bl.a. å organisere det videre arbeidet med målingene, trukket frem (jf. kapittel 6.6.2). Det ble hevdet at Arbeidsgruppen for verifikasjon, også kalt Verifikasjonsgruppen eller Kontrollgruppen, konkluderte med at målingene var for dårlige til at man kunne trekke noen endelig konklusjon. Det ble sitert fra Kontrollgruppens arbeid (ref. appendiks 6.2, punkt 4): «Det er derfor ikke mulig å fastslå nøyaktig hvordan væravhengig tilgjengelighet vil bli for en fremtidig flyplass.»

Selv om værmessig tilgjengelighet ikke kan fastsettes helt nøyaktig, er det ikke dekning for påstanden om at målingene var for dårlige til å trekke noen endelig konklusjon. Dette kan ikke avledes av Kontrollgruppens arbeid. Tvert imot bidrar påstanden til en feilaktig fremstilling av verifikasjonsarbeidet (Hafnor mfl., 1990, s. 5).

6.7.7 Siktmålerne på Hurum var feilkalibrert

I Brennpunkt-programmet nevnt i kapittel 6.7.5, sier programlederen at Jan Wiborg hele tiden var overbevist om at instrumentene ikke fungerte riktig (ref. appendiks 6.2, punkt 5):

Wiborg uttaler: «Videre er instrumentene unøyaktige ved lave siktverdier, som er veldig aktuelt for flyplasslandinger. Disse feilene er ikke fullt ut innkorrigert i resultatene.» Programlederen spør: «Men hvis man korrigerer for disse feilene, hva kan man da si om Hurums tilgjengelighet som flyplass?»

Wiborg svarer: «Man kan ikke si noe som tilsier at værforholdene på Hurum er for dårlige for en flyplass.»

Programlederen konkluderer: «Vi kan konkludere at Wiborg ville hatt gode sjanser til å få rett i sine analyser av instrumenter og fremgangsmåte.»

Igjen er det det som ikke sies i programmet, som gjør at inntrykket man sitter igjen med, blir helt feil.

For det første nevnes det ikke med et ord at DNMI har en egen instrumentavdeling. I avdelingen er det høy kompetanse og lang erfaring i behandling av meteorologiske måleinstrumenter, inkludert slikt utstyr på norske flyplasser. Det var denne gruppen som hadde ansvaret for teknisk drift og vedlikehold av instrumentene på Hurum.

For det andre nevnes heller ikke konklusjonen til SINTEF-professoren i anvendt fysikk (Surlien mfl., 1992, vedlegg B, side 12. Se også appendiks 6.2, punkt 5):

Våre beregninger viser at selv med antagelser om kalibreringsfeil som vi anser som lite sannsynlige, vil tilgjengeligheten på Hurum, basert på siktmålinger, ligge under 99 %. Dersom sidevind inkluderes senkes tilgjengeligheten ytterligere.

Wiborgs påstander er klart tilbakevist av et ekspertutvalg ved SINTEF (se appendiks 6.2, punkt 5). Programmet gir en skjev fremstilling ved å la Wiborgs kompetanse og påstander få bred spalteplass, samtidig som ekspertutvalgets konklusjon og faglige tyngde ble forbigått (Surlien mfl., 1992, kapittel 7.7, s. 74):

DNMI har gjennomført et faglig forsvarlig prosjekt for værmålingene på Hurum. DNMI har utført installasjon, drift, kalibrering og vedlikehold av siktmålerne i tråd med leverandørens retningslinjer, Ekspertgruppen har ikke funnet noen holdepunkter for at manipulering av instrumenter eller måledata har forekommet.

6.7.8 TVNorges «Mannen som falt» og uriktige påstander

I januar 2020 viste TVNorge seks episoder av serien «Mannen som falt». Serien skildret Jan Wiborgs liv, og hans befatning med værmålingene på Hurum.

Manipulering av siktmålerne var et av gjennomgangstemaene i denne serien, og mistanken ble indirekte rettet mot DNMI. På spørsmålet til Wiborg: «Hvem er det som kan ha hatt adgang til instrumentene?», blir dette hengende i lufta fordi svaret fra Wiborg er redigert. Det blir litt unnnvikende i starten: «Det er et større bilde, som jeg ikke vil kommentere. Det får videre

granskning avdekke» (episode 1). Vi får etter hvert høre at feilene er distribuert i instrumentene på en meget profesjonell og alvorlig måte. Det spørres videre: «Men er det noen som har tuklet med instrumentene og satt inn filtre? Hvem kan ha hatt adgang til instrumentene?» Wiborg svarer: «Det ligger i organiseringen av prosjektet hvem det er som har hatt posisjon til å gjøre dette» (episode 2). Først i siste episode blir Wiborg tydelig i sine påstander: «Meteorologene har stort sett ubevisst manipulert dette og har ikke fått mistanke til feilen før jeg begynte å finne ut av det.»

Programserien kaster på denne måten en mistanke mot DNMI, først om uhederlighet, dernest om sviktende kompetanse i behandling av måleinstrumentene. Vi får aldri vite konkret hva Wiborg har funnet ut. Og det ble aldri nevnt at Wiborgs revisjonsrapporter ble gransket. Han fikk ikke medhold av en ekspertgruppe ved SINTEF i sine mest alvorlige påstander (se kapittel 6.7.7). Som nevnt har Instrumentavdelingen ved DNMI utført kalibrering og vedlikehold av siktmålerne etter leverandørens retningslinjer (se kapittel 6.6 om kvalitetssikring).

En annen sak som blir vektlagt i programmet, er Wiborgs uttalelse om de meteorologiske rapportene, som dannet grunnlag for at Hurum ble vraket som hovedflyplassalternativ. Han uttaler: «Totalt sett kan man nesten si at man sitter igjen med et nesten verdiløst resultat.»

Dette er grundig tilbakevist andre steder i kapittel 6.7.

Etter Brennpunkt-programmet i 1999 skrev daværende direktør for DNMI til Kringkastingsrådet:

DNMI vil fastholde at de meteorologiske målingene på Hurum ikke var manipulert, og at kvaliteten på dataene var fullt ut tilstrekkelige til å underbygge de konklusjoner som ble trukket av DNMI når det gjelder værmessig tilgjengelighet for en eventuell hovedflyplass på Hurum. Det er en alvorlig sak for en forsker å bli beskyldt for fusk. Hvis slike beskyldninger ikke blir tilbakevist, kan de ha alvorlige konsekvenser for forskeren selv, og for DNMI. (Se for øvrig appendiks 6.1–6.2 for å lese hele brevet til Kringkastingsrådet.)

Klagen ble ikke tatt til følge (se appendiks 6.3). Men på grunnlag av programmet, særlig med påstander om drap i København, samt påfølgende støy, bestemte Stortinget at en ny granskning av Hurum-målinger, prosess og

resultater skulle utføres, og Smith-kommisjonen ble opprettet. Her ble det på nytt bekreftet at Hurum-målingene ikke var beheftet med alvorlige feil og at drap var lite trolig årsaken til Wiborgs dødsfall.

Når det gjelder TVNorges produksjon, så ble Meteorologisk institutt tilbudt en rolle i programmet. Værvarslingsdirektøren ble utpekt som talsmann for Meteorologisk institutt og var i et timelangt intervju med produsenten. Men i programmet slapp Meteorologisk institutts talsmann bare til i 15 sekunder (episode 2) og fikk dermed ikke anledning til å imøtegå en del av påstandene nevnt i dette kapittelet.

Det er svært alvorlig når uriktige påstander stadig blir gjentatt over et lengre tidsrom (her seks episoder) i en såkalt «true crime», uten å bli imøtegått.

Det ble også fremsatt andre uriktige påstander i programmet, f.eks.: Måleprosjektet til DNMI var ment å vare i to år, men ble avbrutt etter bare åtte måneder.

Dette er ikke riktig. Målingene pågikk frem til 31. mars 1990, dvs. i nesten 15 måneder på hovedstasjonen Stikkvannskollen.

En annen påstand: Tre ganger brøt noen seg inn i målestasjonene og stjal datautstyr. TVNorge-programmet gir inntrykk av at DNMI mistet mye data i forbindelse med tyveri av PC, men slik var det ikke.

Det er riktig at det var innbrudd i Moelven-brakka på Stikkvannskollen, og at en PC ble stjålet. Måleprosjektet mistet kun data fra Stikkvannskollen frem til ny PC var på plass. Data ble overført fortløpende til DNMI to ganger per døgn. Slik sett var det ikke et datalager for prosjektet på PC-en. PC ble stjålet to ganger, men berørte stort sett perioder uten tåke. Det var også et innbrudd i datalager på vindmast, uten vesentlig datatap.

Også andre påstander ble fremført i programmet. Disse er de samme som i Brennpunkt-programmet nevnt ovenfor, og er imøtegått i kapittel 6.7.5–6.7.7.

6.7.9 Siktmålerne på Hurum var manipulert

TVNorge-programmet «Mannen som falt» (2020) handler om omstendighetene omkring Jan Wiborgs død. Programmet insinuerer at Wiborgs død kan ha en sammenheng med de meteorologiske målingene som ble foretatt av DNMI på Hurum, og Wiborgs påstand (i opptak) om at siktmålerne på

Hurum var manipulert og derfor ikke viste riktig måleverdi. I kapittel 6.7.7 er dette tilbakevist.

Selve kronargumentet for at siktmålerne på Hurum ikke viste riktig verdi, er at en av de fire siktmålerne derfra ble flyttet til Fornebu, der den ikke viste riktig verdi: Når siktmåleren ikke viste riktig verdi på Fornebu, kunne den heller ikke ha vist riktig verdi på Hurum.

Dette er enkel logikk dersom premisset er riktig. Men premisset er feil. Siktmåleren viste rett verdi, men måleverdien ble tolket feil.

En siktmåler måler sikten mellom dens sender og mottaker, vanligvis over en avstand på 45–75 meter avhengig av typisk tåketetthet på flyplassen. Det betyr at tettheten av tåka mellom sender og mottaker må være representativ for tåka for den øvrige delen av flyplassen, hvis tåkemålingen skal kunne si noe om landingsforholdene. På Fornebu kan det være slik at tåkeflak driver inn over flyplassen fra sør. Da kan store deler av flyplassen være fri for tåke mens siktmåleren ligger innhyllet i tåke i sør, mot fjorden. Det er gjerne i situasjoner med strålingståke at det kan bli variable tåkeforhold på flyplassen. Det er derfor en god grunn for at flyplasser som oftest er utstyrt med tre siktmålere langs rullebanen, en i hver ende og en på midten.

På Hurum, derimot, er det helt andre tåkeforhold. Der skyldes tåka lave skyer som ligger godt nede på Hurum-plataet. Under slike forhold er tåka vanligvis homogen og svært tett over et større område og siktmålerne gir meget pålitelige verdier for statistisk bearbeidelse. Samtidige målinger fra de tre målepunktene på Hurum for sikt og skyhøyde viste nettopp det – homogene tåkeforhold over et stort område.

Det blir derfor helt feil når det konkluderes i programmet, etter påstanden om at siktmåleren på Fornebu viste feil verdi (fordi den var manipulert): «Virkeligheten gir derfor Wiborg rett.»

Slike konklusjoner kan ikke trekkes på grunnlag av én eller noen få enkeltsituasjoner med varierende tåkeforhold.

Tre av de fire siktmålerne på Hurum ble, etter at måleprosjektet var avsluttet, flyttet til Gardermoen og montert der på ettersommeren og høsten 1990. Den fjerde siktmåleren ble satt på lager, som reserve.

I ettertid har det kommet frem en interessant opplysning: Siktmåleren som ble satt opp på Fornebu i desember 1992, var nyinnkjøpt og hadde aldri vært brukt på Hurum. Men dette forandrer naturligvis ingenting i den konklusjon vi har trukket ovenfor.

6.7.10 Vinterværet er vanskeligere på Gardermoen enn på Hurum

I Aftenposten 8. oktober 1999 kunne man på førstesiden lese: Rapportene fra DNMI viser at problemene med ising, isregn og snø var langt større på Gardermoen (G) enn på Hurum (H). Avisen sammenlignet rapportene fra Hurum (Harstveit mfl., 1990) og Gardermoen (Andresen & Kjensli, 1992) og kom til følgende resultat, angitt som antall timer med type vintervær hver vinter:

Ising	176 timer (H)	315 timer (G)
Underkjølt regn	25 timer (H)	53 timer (G)
Snøfall totalt	622 timer (H)	814 timer (G)

Altså mange flere timer med vanskelig vintervær på Gardermoen enn på Hurum, og «flere hundre timer med vinterkaos på Gardermoen», for å bruke Aftenpostens egne ord.

Denne konklusjonen fikk DNMI til å sende følgende pressemelding 14. oktober 1999:

Aftenposten tar feil på Gardermoen. Aftenposten har feiltolket de to rapportene. Informasjonen i DNMI-rapportene viser at vinterværet på Gardermoen er bedre enn på Hurum.

Vanskelige vinterforhold omfatter glatte rullebaner (is, rim, snø) og problemer med is og snø på flyene. Rapportene har aldri hatt som formål å stille opp vanskelige vinterforhold mot hverandre på de to stedene. Hensikten var å gjøre Luftfartsverket oppmerksom på vinterforhold som kunne føre til forsinkelser i flytrafikken, slik at man kunne iverksette nødvendige tiltak på flyplassen for å begrense ulempene. Aftenposten har misforstått tabellene om vinterforhold og sammenlignet tabellene på en ikke-relevant måte.

Ising i tåke

Ising i tabellen ovenfor gjelder ising som følge av tåkedråper som fryser når de treffer objekter. Tabellene for Hurum og Gardermoen er imidlertid ikke sammenlignbare fordi de 176 timene på Hurum refererte til situasjoner med sikt under 300 m, mens de 315 timene på Gardermoen refererte til sikt under

1000 m. Dersom grenseverdien på Gardermoen også var satt til 300 m, ville timetallet vært på ca. 80 timer, dvs. lavere enn på Hurum. Her er det mest relevant å se på tett tåke, fordi slik tåke inneholder mye mer vann enn mindre tett tåke. Dessuten er det oftest en del vind sammen med tåka på Hurum, og dette er i mindre grad tilfelle på Gardermoen. Derfor treffer flere vanndråper rullebane, fly osv. per tidsenhet på Hurum enn på Gardermoen og følgelig blir det mer is der.

Hurum hadde altså vanskeligere forhold enn Gardermoen ved ising i tåke.

Ising når det faller yr og regn ved kuldegrader

Yr og regn ved kuldegrader kan gi problemer begge steder vinterstid. Dette skyldes kald luft langs bakken og varmere luft i høyden. Dette var vanligere på Gardermoen enn på Hurum, 53 timer mot 25 timer. Disse værforholdene kan gi en del is fordi tilført vann gjennom nedbør blir en del større enn ved den kalde tåken på de to stedene.

Gardermoen hadde altså vanskeligere forhold enn Hurum når det falt yr og regn ved kuldegrader.

Snøvær, spesielt omkring 0 °C

Snøvær kan skape problemer av forskjellig slag. Rullebaner må ryddes for snø, rullebaner kan bli glatte, kanskje spesielt i snøvær omkring 0 °C. Snø kan legge seg på flykroppen og må fjernes før flyet kan lette. Det er størst problemer når intensiteten i snønedbøren er stor. Tabellene i rapportene er her direkte sammenlignbare (men ikke vurdert av Aftenposten). Gardermoen hadde et gjennomsnitt på 7 døgn i løpet av året der det kom mer enn 10 mm nedbør i form av snø (tilsvarer ca. 10 cm snødybde), mens Hurum hadde 11 døgn. Likeledes hadde Hurum 172 timer med snøfall omkring 0 °C, mens Gardermoen hadde 147. Vi ser at snøen på Gardermoen kom mye mer i form av lett snøfall ved kuldegrader. Det kreves ikke så stor innsats for å gjøre fly og rullebaner klare i slike situasjoner. Selv om Gardermoen hadde 814 timer med snøvær per år, mens Hurum hadde 622, så kan vi si:

Hurum hadde altså vanskeligere forhold enn Gardermoen fordi det kom flest tette og våte snøfall på Hurum.

Vind og glatte rullebaner

Det er vesentlig sterkere vind på Hurum enn på Gardermoen. I en del tilfeller er det også sidevind i forhold til aktuell rullebaneretning. Kombinert med glatte rullebaner gir dette ekstra operasjonelle problemer. Vind og samtidig snøfall gir som kjent økt behov for snøbrøyting.

Konklusjon om vinterværet

Meteorologisk institutt mener at den informasjon som faktisk finnes i rapportene om Gardermoen og Hurum, viser at Hurum totalt sett hadde noe vanskeligere vintervær enn Gardermoen. I tillegg kom de mye vanskeligere tåkeforholdene på Hurum.

6.8 Konklusjon

Påstand om feil måleoppsett:

Meteorologisk institutt mener fortsatt at arbeidet ble gjort med den beste tilgjengelige teknologien og ved bruk av de beste metodene i tidsrommet for måleprosjektet.

Påstand om juks med målinger:

Meteorologisk institutt mener dette er grundig tilbakevist i alle rapporter og granskninger.

Påstand om manglende kvalitetssikring:

Meteorologisk institutt mener det ble benyttet gode metoder og gode rutiner som sikret full kontroll med kvaliteten på målingene. Oppdragsgiver stilte ikke formelle krav til kvalitetssikring, og det forelå heller ikke krav til ISO-sertifisering ved Meteorologisk institutt på den tiden.

Meteorologisk institutt har senere blitt ISO 9001-sertifisert for «Establishment and operation of weather stations and collection, control and ensuring availability of ground based meteorological observations». I bunnen ligger de samme rutiner som var brukt under arbeidet med Hurum-prosjektet. Meteorologisk institutt skulle gjerne sett at dette formaliserte verktøyet var påkrevd i Hurum-oppdraget. Det kunne gjort det vanskeligere å spekulere og konspirere omkring Hurum-prosjektet.

Meteorologisk institutt ser ikke at det er faglige holdepunkt for noen av de kritiske påstandene som så langt er fremmet, verken måleteknisk, meteorologi- eller klimatologifaglig.

Referanser

- Aldrin, M. & Bølviken, E. (1990). *Siktforhold på Stikkvannskollen, Hurum. Norsk Regnesentral* (NR-Notat STAT/01/90). Norsk Regnesentral.
- Andresen, L. (1987). *Siktforhold på Hurumlandet*. (DNMI-rapport 28/87 Klima). Meteorologisk institutt.
- Andresen, L. & Harstveit, K. (1988a). *Meteorologisk måleprosjekt på Hurum. Kartlegging av værforhold i flyplassområdet* (DNMI-rapport 22/88 Klima). Meteorologisk institutt.
- Andresen, L. & Harstveit, K. (1988b). *Stikkvatnet på Hurum. Vurdering av siktmålinger* (DNMI-rapport 2/88 Klima). Meteorologisk institutt.
- Andresen, L. & Harstveit, K. (1989). *Hurum-prosjektet. Meteorologiske målinger per 31. august 1989* (DNMI-rapport 27/89 Klima). Meteorologisk institutt.
- Andresen, L. & Kjensli, P.-O. (1990). *Gardermoen og Fornebu – Værmessig tilgjengelighet* (DNMI-rapport 18/90 Klima). Meteorologisk institutt.
- Andresen, L. & Kjensli, P.-O. (1992). *Gardermoen – Værmessig tilgjengelighet* (DNMI-rapport 22/92 Klima). Meteorologisk institutt.
- Drammen politikammer. (1990, 22. mars). Pressemelding v/politiinspektør Jan Berthelsen om politietterforskningen av anmeldt mistanke om manipulering / sabotasje av værmålingsutstyr som Det norske meteorologiske institutt (DNMI) hadde utplassert på Hurum-landet i forbindelse med planleggingsarbeidene for ny hovedflyplass (Pressemelding).
- Gjessing, Y., Skartveit, A. & Utaaker, K. (1990). *Vurdering av sikt- og vindforhold på Hurumåsen* (Meteorological Report Series). University of Bergen.
- Hafnor, O.-A, Christiansen, Ø., Løfsgaard, V., Winness, T. & Aune, B. (1990). *Vurdering av værmessig tilgjengelighet og operative konsekvenser for ny hovedflyplass på Hurum* (Styringsgruppens rapport). Meteorologisk institutt.
- Harstveit, K., Andresen, L., Aune, B., Hansen, M. & Kjensli, P.-O. (1990). *Hurum – Værmessig tilgjengelighet for en flyplass 290 m o.h.* (DNMI-rapport 11/90 Klima). Meteorologisk institutt.
- Smith, E., Grimstad, E., Hylland, Aa., Skatvedt, K.H. & Steinsmo, U. (2001). *Dokument nr. 18 (2000–2001)* (Rapport til Stortinget fra kommisjonen som ble nedsatt av Stortinget for å foreta en bred gjennomgang av utredning, planlegging, prosjektering og utbygging av ny hovedflyplass for Østlandet og Gardermobanen). <https://www.stortinget.no/Global/pdf/Dokumentserien/2000-2001/dok18-200001.pdf>
- Surlien, R., Jersin, E. & Thunem, Aa.J. (1992). *Vurdering av værmålingene på Hurum* (Utredning avgitt til Samferdselsdepartementet). Meteorologisk institutt.

Appendiks 6.1 – DNMI's brev til Kringkastingrådet

Kringkastingrådet
NRK
0340 Oslo

Deres ref.:

Vår ref.:
314.2/2221/99 AE/igg
Saksbehandler:
A. Eliassen, 22 96 31 52

Dato:
16. desember 1999

Klage på TV-program i serien "Brennpunkt", sendt onsdag 03.11.99 kl. 2030.

DNMI vil herved klage på dette programmet som handlet om omstendighetene omkring Jan Wiborgs død. Uten å si det direkte, insinuerte programmet at Wiborgs død kan ha noe å gjøre med de meteorologiske målingene som ble foretatt av DNMI på Hurum i forbindelse med planene om å legge hovedflyplassen dit.

Programmet gir inntrykk av at siktmålingene på Hurum ikke var korrekt utført og at resultatene derved ikke er til å stole på. Som vist i vedlegget er fremstillingen i programmet på dette punkt systematisk ensidig. Konklusjoner er trukket på grunnlag av ensidige partsinnlegg, feiltolkninger og mangelfull informasjon. Uten at det sies direkte, kan seerne lett få mistanke om at dataene har vært manipulert for å få et forhåndsbestemt svar, nemlig at værforholdene på Hurum var for dårlige for en hovedflyplass.

DNMI vil fastholde at de meteorologiske målingene på Hurum ikke var manipulert, og at kvaliteten på dataene var fullt ut tilstrekkelig til å underbygge de konklusjoner som ble trukket av DNMI når det gjelder værmessig tilgjengelighet for en eventuell hovedflyplass på Hurum. Det er en alvorlig sak for en forsker å bli beskyldt for fusk. Hvis slike beskyldninger ikke blir tilbakevist, kan de ha alvorlige konsekvenser for forskeren selv, og for DNMI. DNMI ber Kringkastingrådet beklage at programmet ved en systematisk ensidig saksfremstilling ledet seerne til å tro at siktmålingenes kvalitet var utilstrekkelig eller at dataene var manipulert.

Seerne kan også lett få inntrykk av at Jan Wiborg hadde fått tak i informasjon som viste at dataene hadde vært manipulert, og at hans død hadde sammenheng med denne informasjonen. Dette sies heller ikke direkte, men programmet leder tydelig seerne i retning av en slik oppfatning. DNMI mener dette er en alvorlig men uklar beskyldning som fremsettes på en fordekt måte, og på sviktende grunnlag. DNMI ber Kringkastingrådet beklage forholdet.

DNMI vil understreke at det er vanskelig å forsvare seg mot beskyldninger som er insinuert, men ikke direkte uttalt i et program. Antakelig er det mulig å diskutere i hvilken grad beskyldningene faktisk foreligger. I dette tilfellet var imidlertid insinuasjonene så alvorlige angrep på DNMI og DNMI's personell at instituttet ønsker å gi uttrykk for sitt syn.

DNMI vil til slutt understreke at instituttet ser på dette som en isolert sak som ikke bør influere på vårt stort sett gode forhold til NRK.

Med hilsen

Anton Eliassen
konstituert direktør

Jens Sunde
meteorologidirektør

Vedlegg: Nærmere utdypning av klagen vedrørende
programmets fremstilling av siktmålingene
på Hurum.

Kopi: Kringkastingsjef Einar Førde

Appendiks 6.2 – DNMI's klage til Kringkastingsrådet (vedlegg til brev)

Vedlegg til 314.2/2221/99

Oslo 16.12.1999

Klage til Kringkastingsrådet fra Det norske meteorologiske institutt vedrørende TV-programmet Brennpunkt, sendt onsdag 03.11.1999 kl. 2030

Nærmere utdyping av klagen vedrørende programmets fremstilling av siktmålingene på Hurum.

Klagen gjelder fremstillingen av siktmålingene på Hurum, som Det norske meteorologiske institutt (DNMI) hadde ansvar for. Programlederen trekker slutninger på mangelfullt eller feilaktig grunnlag. Han benytter en serie uttalelser fra intervjuede personer, og noen observasjoner fra siktmålinger på Fornebu/Gardermoen i sin argumentasjonsrekke. Men utvalget er særdeles skjevt, og hans konklusjon blir farget av dette. Uttalelser fra personer som klart har tonet flagg som Hurumtilhengere, og noen ganske få ikke-representative observasjoner, gir ingen rett til å trekke følgende konklusjon: "*Vi kan i dag si at virkeligheten gir Wiborg rett*". Etter dette programmet er det blitt sittende igjen et inntrykk av at målingene ikke har vært til å stole på, og DNMI's omdømme er urettmessig skadet.

Programmet Brennpunkt oppfattes som et seriøst dokumentarprogram, som setter et kritisk søkelys på institusjoner, organisasjoner og enkeltpersoner når disse har betydning for viktige beslutninger for vårt samfunn og for hendelser i vår tid. Vi støtter idéen bak et slikt program og har derfor ikke noe imot at også DNMI får et slikt søkelys mot seg. Men vi forutsetter da at all relevant og tilgjengelig informasjon blir innhentet og at slik informasjon blir brukt på en seriøs måte.

Disse forutsetningene var ikke oppfylt i det nevnte Brennpunkt-programmet og fremstillingen som ble gitt, ble derfor misvisende og til dels helt feil. Vi vil peke på følgende innslag i programmet:

1. *Programlederen refererer til det meteorologiske måleprosjektet på Hurum og sier: "En siktmåler ble plassert høyt over det planlagte flyplassnivået, der den var utsatt for vær og vind."*

DNMI's måleroppstilling var representativ for en fremtidig flyplass. Måleverdiene ble korrigert for høydeforskjellen på 60 m.

Uttalelsen i programmet er egnet til å trekke plasseringen av måleutstyret i tvil. Det ble ikke sagt noe om at en fremtidig flyplass ville bli liggende på toppen av Hurumåsen uten skjermende terreng omkring, og at en slik flyplass, med alle sine måleinstrumenter, absolutt ville bli utsatt for vær og vind. Se DNMI-rapport 11/90, side 6 og 49.

2. *Programlederen sier videre: "Men målingene på Hurum ble aldri gjennomført etter planen. Bare én av tre målere var tatt i bruk og målingene hadde vært avbrutt av strømstans, innbrudd og lynnedslag"*.

Påstanden fra programlederen om at bare én siktmåler var tatt i bruk er direkte feil.

Uttalelsen i programmet gir inntrykk av at DNMI ikke fikk samlet tilstrekkelig med data til å kunne vurdere Hurum som flyplassområde. Dette er ikke riktig. Måleutstyr ble plassert slik det var planlagt. Siktmålere ble plassert på Stikkvannskollen og Nilsåsen. Siktmåleren ved Stikkvann ble satt i drift igjen. Siktmåleren på St.Hansberget ble satt opp ved slutten av måleprosjektet for bl.a. å kunne benyttes til korreksjon av høydedifferansen til planlagt flyplassnivå. I tillegg ble det satt opp to skyhøydemålere, en ved Stikkvann og en ved Nilsåsen, og ved slutten av måleprosjektet en skyhøydemåler sør for St.Hansberget. Dessuten ble det satt opp en rekke andre måleinstrumenter. Etter planen skulle måleutstyret tas i bruk så fort som mulig etter at det var inngått avtale med grunneier. Alt måleutstyr var tatt i bruk da Hafnor-gruppen (se punkt 3), leverte sin rapport 31.01.1990. Da hadde sikt- og skyhøydemålere, tilknyttet målestedene Stikkvannskollen, Stikkvann, Nilsåsen og St.Hansberget, levert siktdata i hhv. 13, 13, 3-4 og 2 måneder. Se DNMI-rapport 11/90, side 4 og 15-16. Denne rapporten har også med data fra siktmålerne på Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget i ytterligere 2 måneder. Det er i denne saken også viktig å få med at målingene – i fra de var satt opp, under hele prosessen med vedtak og verifisering, og i etterkant – bekreftet måleresultatene som vedtakene er bygget på. Dette er ikke nevnt i programmet.

Måleseriene fra Nilsåsen og St.Hansberget bekreftet de lave siktverdiene, som ble målt på Stikkvannskollen. Se DNMI-rapport 11/90, side 44. I prosjektet ble parallelle data fra 4 siktmålere og 2 skyhøydemålere i en periode på 4 vintermåneder automatisk registrert hvert 10. minutt. Disse målingene hang meget godt sammen og ga et godt bilde av siktforholdene.

Øverst på side 15 i samme rapport står det: "Målinger av sikt på Stikkvannskollen, Nilsåsen og St.Hansberget i 1989/90 er presentert i tabellene 3.1-3. Med unntak for august, som gjelder perioden 1-14/8 og 22-31/8, er alle månedene fullstendige." Vesentlige brudd i dataserien på grunn av strømstans, innbrudd og lynnedslag kan altså tilbakeføres til én enkelt sommermåned på Stikkvannskollen. Igjen et eksempel på skjev framstilling fra programlederen. Det skapes et inntrykk av det ble samlet for lite data. Men måleserien på Stikkvannskollen var lang nok til en statistisk analyse av måledataene og beregning av gjennomsnittsverdier for langtidsperioden 1957-89. Se rapport fra Norsk Regnesentral, STAT/01/90, side 2.

3. *Programlederen sier videre: "Reaksjonen fra flyfaglig hold ble derfor sterk. Noen måtte ha drevet med fusk og fanteri, ble det sagt. Men kritikken ble tilbakevist. Det var ingen Hurum-sabotasje."*

Påstanden om "fusk og fanteri" er mye sterkere tilbakevist enn det som kommer fram i programmet. I Drammens politikammers rapport av 22.03.1990 står det:

"I forbindelse med etterforskningen har politiet foretatt 33 vitneavhør. Det er videre foretatt tekniske undersøkelser fra politiets side samt innhentet opplysninger fra DNMI. Ut fra politiets etterforskningsarbeide har det ikke forekommet noen opplysninger som kan tyde på at det har foregått mer eller mindre organisert manipulering eller sabotasje mot DNMI's målestasjoner på Hurum-landet."

4. Programlederen trekker inn Styringsgruppen som Luftfartsverket (LV) oppnevnte 28.10.1989 for å forestå organiseringen av det videre arbeidet med de meteorologiske målingene og vurdere de driftsoperative konsekvensene for en hovedflyplass på Hurum. Oppgaven var todelt. Den ene oppgaven gikk ut på å verifisere målemetoder og måleresultater (kontrollgruppen). Den andre oppgaven gikk ut på utrede driftsoperative forhold som lufttrafikkregulering, bakkeoperasjoner og flyoperative forhold (driftsoperativ gruppe). Styringsgruppen ble ledet av Ole-Andreas Hafnor fra Det Norske Veritas.

Programlederen snakker om gruppen som skulle foreta den uavhengige kontrollen. Han sier: "Denne gruppen konkluderte med at målingene var for dårlige til at man kunne trekke noen endelig konklusjon." Det siteres fra kontrollgruppens arbeid: "Det er derfor ikke mulig å fastslå nøyaktig hvordan den væravhengige tilgjengelighet vil bli for en fremtidig flyplass."

Selv om værmessig tilgjengelighet ikke kan fastsettes helt nøyaktig, er det ikke dekning for påstanden om at målingene var for dårlige til å trekke noen endelig konklusjon.

Styringsgruppens rapport refererer til konklusjonene fra den eksterne ekspertise (se nedenfor). Styringsgruppens konklusjon er stikk i strid med programlederens:

"Selv om verifikasjonsarbeidet viser at det er en viss usikkerhet knyttet til den værmessige tilgjengeligheten som DNMI har beregnet, anser Styringsgruppen at de meteorologiske dataene fra DNMI er tilstrekkelig pålitelige til å danne et forsvarlig grunnlag for beregning av operative konsekvenser for en hovedflyplass på Hurum."
Se Hafnor-rapporten, side 5.

Vi vet ikke i hvilken sammenheng kontrollgruppens uttalelse står. Arbeidsgruppen skulle ikke selv verifisere målemetoder og resultater, men se til at eksterne ekspertise gjorde utredninger av de forskjellige delene av problemkomplekset. Det ble således innhentet utredninger fra:

Universitet i Bergen, Geofysisk institutt
Universitetet i Stockholm
Universitetet i Uppsala
The Meteorological Office, Storbritannia
Luftfartsverket, Sverige
Civil Aviation Authority, Storbritannia
Royal Aerospace Establishment, Storbritannia
Deutscher Wetterdienst, Tyskland
U.S. National Weather Service, USA
Atmospheric Environment Service, Canada
The University of Manchester, Institute of Science and Technology, England

Det er riktig at den eksterne ekspertise ikke kommer til nøyaktig samme resultat angående den værmessige tilgjengelighet. Ingen av de eksterne eksperter har imidlertid kommet til et resultat, som er godt nok til å tilfredsstille LV's krav til værmessig tilgjengelighet. Se Hafnor-rapporten, side 14-21. I tillegg kommer så at vind og redusert sikt i kombinasjon reduserer den værmessige tilgjengelighet ytterligere. Se Hafnor-rapporten, side 31.

DNMI mener at programlederen her fremmer egne synspunkter. Programlederens slutning om at målingene var for dårlige til å kunne trekke noen endelig konklusjon, kan ikke

avledes av kontrollgruppens arbeid. Han tolker uttalelsen fra kontrollgruppens arbeid på en måte det ikke er grunnlag for, og ser bort fra den samlede vurdering som Hafnor-rapporten har gjort. DNMI er av den oppfatning at programlederens utelatelse av konklusjonen i Hafnor-rapporten bidrar til en gal fremstilling av granskningsarbeidet.

5. Programlederen kommer så inn på siktmålerne og sier at Jan Wiborg hele tiden var overbevist om at instrumentene ikke fungerte riktig. Wiborg uttaler: "Videre er instrumentene unøyaktige ved lave siktverdier, som er veldig aktuelt for flyplasslandinger. Disse feilene er ikke fullt ut innkorrigert i resultatene. Programlederen spør: "Men hvis man korrigerer for disse feilene, hva kan man da si om Hurums tilgjengelighet som flyplass?" Wiborg svarer: "Man kan ikke si noe som tilsier at værforholdene på Hurum er for dårlige for en flyplass."

Wiborgs påstander er klart tilbakevist av et ekspertutvalg ved SINTEF. Programmet gir en skjev fremstilling ved å la Wiborgs kompetanse og påstander få bred spalteplass, samtidig som ekspertutvalgets konklusjon og faglige tyngde ble forbigått.

Det ble oppnevnt en ekspertgruppe 17.07.1992 ledet av Raket Surlien, til å gjennomgå Wiborgs påstander om feil. En seniorforsker ved SINTEF Sikkerhet og pålitelighet, en direktør for SINTEF DELAB og en professor og avdelingssjef ved SINTEF Anvendt fysikk gjorde det praktiske arbeidet med gjennomgangen av Wiborgs revisjonsrapport og ev. konsekvenser av denne. Ekspertgruppens samlede konklusjon er ikke gjengitt. Den står på side 74 og sier bl.a.:

"DNMI har gjennomført et faglig forsvarlig prosjekt for værmålingene på Hurum. DNMI har utført installasjon, drift, kalibrering og vedlikehold av siktmålerne i tråd med leverandørens retningslinjer. Ekspertgruppen har ikke funnet noen holdpunkter for at manipulering av instrumenter eller måledata har forekommet."

Igjen er det det som ikke sies i programmet, som gjør at inntrykket man sitter igjen med blir helt feil. For det første nevnes det ikke med et ord at DNMI har en egen instrumentavdeling. I avdelingen er det høy faglig kompetanse og lang erfaring i behandling av meteorologiske måleinstrumenter. Det var denne gruppen som hadde ansvaret for teknisk drift og vedlikehold av instrumentene på Hurum.

Konklusjonen til SINTEF-professoren i Anvendt fysikk er heller ikke nevnt:

"Våre beregninger viser at selv med antagelser om kalibreringsfeil som vi anser som lite sannsynlige, vil tilgjengeligheten på Hurum, basert på siktmålinger, ligge under 99%. Dersom sidevind inkluderes senkes tilgjengeligheten ytterligere."

Se ekspertgruppens rapport, vedlegg B, side 12.

Vi spør: Hvorfor ble dette avfeid med at Surlien var mot Hurum, mens ekspertgruppens sammensetning ble utelatt? Likevel uttaler programlederen:

"Vi kan konstatere at Wiborg ville hatt gode sjanser til å få rett i sine analyser av instrumenter og fremgangsmåte."

6. Programlederen nevner at siktmålerne på Hurum ble flyttet til Gardermoen og Fornebu. Han sier: "Det viser seg da at de ikke fungerer korrekt under siktforhold som er

avgjørende for en flyplass." Som belegg for denne påstand sier programlederen følgende: "Vakthavende flygeleder uttalte at han måtte frakoble siktmåleren fordi den ikke fungerte. Siktmålerne er rett og slett ikke til å stole på." Flygelederen selv svarer på programlederens spørsmål om hva som ville skjedd hvis flygelederne skulle fulgt siktmålerens indikasjoner: "Da ville sikten store deler av gårdsdagen og dagen være under minima." Programlederen konkluderer: "Virkeligheten gir derfor Wiborg rett."

Programlederens slutning om at siktmålerne ikke er å stole og at virkeligheten gir Wiborg rett, er feil. Slike konklusjoner kan ikke trekkes på grunnlag av én eller noen få enkeltsituasjoner med varierende tåkeforhold.

Programlederen viser til enkeltsituasjoner på Fornebu. Der kan det av og til være lav tåke (tykkelse 2-3 m) i den sørlige delen av flyplassområdet, hvor siktmåleren står. I slike situasjoner vil siktforholdene variere og kan være under landingsminima på 600 m noen steder og over 600 m andre steder på flyplassen. Tåke på Fornebu forekommer i hovedsak når det er stille, kaldt og klart vær. Tåka danner seg først der det er fuktig, for eksempel i nærheten av åpent vann, og nær bakken der det er kaldest. Forholdene blir da lett ujevne over plassen og kan vurderes annerledes fra tårnet enn der siktmåleren står. Det blir da flygelederens oppgave å vurdere det som er representativt for rullebanen.

Selv om siktmåleren ikke viser representative verdier for flyplassen, kan man ikke si at måleren viser feil. Måleren viser alltid forholdene mellom dens sender og mottaker. Det er bare når forholdene mellom sender og mottaker også er de samme for hele eller større deler av flyplassen, at en siktmåler kan gi representative verdier.

På Hurum er det helt andre tåkeforhold, og landingsminima for planlagt flyplass var satt til 200 m. Slike lave siktverdier forekommer ved lave skyer som ligger godt nede på Hurumplatået. Under slike forhold er vanligvis tåka homogen over et større område og siktmålerne gir meget pålitelige verdier for statistisk bearbeidelse.

Konklusjon:

Programlederen bruker i Brennpunkt-programmet en rekke eksempler (til dels svært misvisende eksempler, som vi har sett) på å vise at siktmålingene ikke har vært gode nok til å utrede den værmessige tilgjengeligheten på Hurum. Han har i stor grad benyttet seg av tidligere opptak av samtaler med Jan Wiborg, som var ekspert på kvalitetssikring, men ikke ekspert på siktmålinger og meteorologi. Han har benyttet seg av en flygeleder, som enten ikke hadde kunnskaper om hvordan en siktmåler fungerer, eller som ikke kom til orde med slik kunnskap. Men han har ikke benyttet seg av personer med kompetanse på klimatologiske utredninger, som er helt nødvendig når det skal angis hyppighet av spesielle værforhold. Slike personer kommer til orde i Hafnor-rapporten, men resultatene er ikke presentert. Kompetanse på klimatologiske utredninger og meteorologiske måleinstrumenter finnes på DNMI, men uttalelser derfra eller fra rapportene som DNMI har utgitt er ikke benyttet. Programlederen har i det hele tatt ikke presentert konklusjonene i de granskningsrapportene som foreligger: Hafnor-rapporten, SINTEF-ekspertenes rapport og rapporten fra Drammen Politikammer.

Appendiks 6.3 – Kringkastingsrådets svar til DNMI

Kringkastingsrådet

Bjølvsstjerne Bjørnsons plass 1, 0340 Oslo
 Sentralbord: 23 04 70 00
 Sekretær: 23 04 84 94
 Kontor: 23 04 85 08
 Faks: 23 04 90 30
 E-mail: leif.stavik@nrk.no
 margareth.humlen@nrk.no

METEOROLOGISK INSTITUTT	
Saksnr.: 2008.....	Dok.nr.: 9.....
Saksb.: <i>DNMI/KringA</i> 3/42.....	
Innk: 2/2..2008.....	Eksp.:

Oslo, 28. februar 2008

Kopi: Med dir

mp: OK 13/2008 JS

Konstituert direktør
 Anton Eliassen
 DNMI
 Postboks 43 Blindern
 0313 Oslo

KOP 1
AS

Vi viser til klagen på fjernsynsprogrammet "Brennpunkt" sendt 3.november 1999.

Kringkastingsrådet vil takke for et godt dokumentert brev om nevnte program, som ble drøftet på rådets siste møte. I tillegg til at de i god tid før møtet hadde fått tilsendt kopi av angjeldende klagebrev med vedlegg, hadde rådsmedlemmene ved et par anledninger fått avspilt de aktuelle programsekvensene. De hadde også mottatt en redegjørelse fra programmets produsent.

På bakgrunn av Kringkastingsrådets drøfting av saken kan vi opplyse følgende: Kringkastingsrådet finner det vanskelig å vurdere de tekniske opplysninger om siktmålinger og den værmessige tilgjengeligheten på Hurum – både de som framkommer i programmet og de opplysninger som legges fram i brevet fra DNMI. Rådet har derfor valgt å vurdere klagen ut fra de etiske forutsetninger som må gjelde for god og oppsøkende kritisk journalistikk i NRK. Dette vil omfatte en vurdering av kildebruk og kritisk vinkling i programmet.

Kringkastingsrådet legger stor vekt på at en institusjon som NRK kan produsere kritiske programmer om saker som verserer i den offentlige debatt og som inngår i en politisk vurdering av prosessen rundt flyplassalternativene. Det er derfor viktig at et program som "Brennpunkt" fritt kan foreta egne valg av kilder, stille kritiske spørsmål og velge kritiske vinklinger i presentasjonen av problemstillingene.

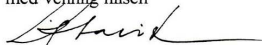
Noen medlemmer av Kringkastingsrådet mener at programlederen kunne vært mer tilbakeholden i formidlingen av egne kommentarer, noe som ga programmet en "bombastisk" konklusjon. Men selv om programmet etterlater dette inntrykk, kan Kringkastingsrådet ikke se at det direkte rokker ved DNMI's kompetanse å benytte Jan Wiborg som kilde for kritiske vurderinger av siktmålingene på Hurum. Det må være NRKs rett og plikt selv å velge kilder og en kritisk vinkling på saker som er så omstridt i det norske samfunn som flyplassalternativene.

ringkastingsrådet

Ørnstjerne Bjørnsons plass 1, 0340 Oslo
Sentralbord: 23 04 70 00
Sekretær: 23 04 84 94
Kontor: 23 04 85 08
Faks: 23 04 90 30
E-mail: leif.stavik@nrk.no
margareth.humlen@nrk.no

Kringkastingsrådet vil derfor ikke beklage dette "Brennpunkt"-programmet.

For Kringkastingsrådet
med vennlig hilsen



Leif Stavik, rådssekretær

Kopi:

Meteorologidirektør Jens Sunde

Rådsleder Ivan Kristoffersen
Fjernsynsdirektør Hans-Tore Bjerkaas
Programsjef Oddbjørg Aasen Bjørdal
Redaktør Alf R. Jacobsen
Programsekretær Ebbe Ording

Forfattere

Lars Andresen, f. 1944. Cand.real i meteorologi, Universitetet i Oslo 1971. Statsmeteorolog Vervarslinga for Nord-Norge 1973–1976. Statsmeteorolog og forsker klimaavdelingen, Meteorologisk institutt i Oslo 1976–2012. Arbeidsområder: kvalitetskontroll av klimadata, homogenisering av lange tidsserier av temperatur og utredning av værmessig tilgjengelighet på norske flyplasser.

Rasmus Benestad, f. 1968. B.Sc. Hons i fysikk med elektronikk University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST) 1992, M.S. i atmosfærefysikk New Mexico Institute of Technology and Mining 1994, og D.Phil. i havfysikk Atmospheric, Oceanic and Planetary Physics, Oxford University 1998. Forsker Meteorologisk institutt siden 1998 og leder seksjon for modell og klimaanalyse siden 2020. Styreleder Tekna klima siden 2013.

Anton Eliassen, f. 1945. Cand.real i meteorologi, Universitetet i Oslo 1970. Forsker NILU 1972–1978, Meteorologisk institutt 1978–1987, professor II Universitetet i Oslo 1984–2000, meteorologidirektør 1989–1997 og direktør for Meteorologisk institutt 1999–2016. President WMO Commission for Atmospheric Sciences (CAS) 1998–2004, president ECMWF Council 2003–2006, president EUMETSAT Council 2014–2017 og en rekke andre nasjonale og internasjonale verv.

Eirik J. Førland, f. 1944. Cand.real i meteorologi, Universitetet i Bergen (UiB) 1972. Stipendiat Geofysisk institutt UiB 1972–1977. Statsmeteorolog/forsker Meteorologisk institutt 1977–2001. Leder seksjon for klimaforskning, Meteorologisk institutt 2001–2005, klimadirektør, senere fagdirektør samme sted 2005–2016, leder Norsk klimaservicesenter 2011–2013. Forskningsområder: hydrometeorologi, historisk og fremtidig klimautvikling, romlig fordeling av klimaelement, sur nedbør.

Ove Grاسبakken, f. 1939. Overingeniør i observasjonsdivisjonen Meteorologisk institutt. Ansatt instrumentavdelingen 1969. Arbeidsområde: drift og utvikling av meteorologiske målestasjoner i observasjonsnettet. Ansvar for målestasjoner på flyplassene i Norge 1970–1990, deretter overtok Luft-

fartsverket-Avinor. Ansvar for Meteorologisk institutts utstyr på Svalbard lufthavn 1975. Automatisering av instituttets stasjonsnett inkludert de arktiske stasjonene Jan Mayen, Bjørnøya, Hopen og Svalbard fra 1990. Har bodd 5–6 år på de arktiske stasjonene. Kontroll av meteorologisk måleutstyr på oljeinstallasjoner etter instituttets avtale med Oljedirektoratet, 4–5 årlige besøk. Monterte måleutstyr på OL-anlegg 1992–1994, med driftsansvar før og under OL. Teknisk ansvar for instrumenteringen på Hurum, driftet utstyret ved ukentlige besøk i to år.

Inger Hanssen-Bauer, f. 1957. Cand.real i meteorologi Universitetet i Bergen 1983, dr.scient. samme sted 1990. Forsker Meteorologisk institutt siden 1990. Leder seksjon for klimaforskning, Meteorologisk institutt 2006–2009, professor i klima Høgskolen i Telemark 2009–2013, leder Norsk klimaservicesenter 2013–2019. Forskningsområder: grenselagsmeteorologi, regional og lokal klimavariasjon og endring, og tilrettelegging av klimainformasjon for bruk i virkningsstudier.

Knut Harstveit, f. 1951. Cand.real i meteorologi Universitetet i Bergen 1978, dr.scient. samme sted 1984. Stipendiat Universitetet i Bergen 1978–1983. Statsmeteorolog/forsker Meteorologisk institutt 1983–2008. Seniorrådgiver Kjeller Vindteknikk 2008–2018. Arbeidet med forskning og utredning i lokalt klima. Spesialist i lokale vindforhold og flyplassklimatologi.

Øystein Hov, f. 1950. Cand.real i meteorologi Universitetet i Oslo 1975, dr.philos. 1982, PhD honoris causa Stockholms universitet 2013. Forskningsdirektør Meteorologisk institutt 2004–2016. Stipendiat Universitetet i Oslo 1975–1981, forsker NILU 1981–1989, professor i meteorologi Universitetet i Bergen 1989–1996 og styrer Geofysisk institutt 1990–1995, direktør NILU 1996–2003, professor II Universitetet i Oslo 2003–2016, generalsekretær Det Norske Videnskaps-Akademi 2017–2020. Ledet bl.a. Science advisory panel for atmospheric chemistry research, EU-kommisjonen 1992–2003, WMO Working group on atmospheric chemistry and environmental pollution 1998–2013, president Commission for Atmospheric Sciences, WMO 2013–2020.

Knut A. Iden, f. 1945. Cand.real i meteorologi Universitetet i Bergen 1971. Statsmeteorolog avdeling for hydrometeorologi ved Meteorologisk institutt fra 1975. Forsker og leder for miljødatasenteret ved Meteorologisk institutt 1986–2002. Leder seksjon for klimainformasjon i klimadivisjonen, Meteorologisk institutt fra 2002.

Ketil Isaksen, f. 1975. Cand.scient. i fysisk geografi ved Institutt for geofag, Universitetet i Oslo 1998, dr.scient. samme sted 2001. Forsker ved klimadivisjonen Meteorologisk institutt 2002–2011, seniorforsker avdeling for modell- og klimaanalyse, FoU-divisjonen til Meteorologisk institutt siden 2012. Forskingen er knyttet til permafrost og klima, først og fremst permafrostens termiske respons og følsomhet for klimaendringer, utvikling av metoder for langtidsovervåking av permafrost, analyser av klimaendringer i Arktis og Europas fjellområder.

Trond Iversen, f. 1953. Cand.real i meteorologi Universitetet i Oslo 1979, dr.scient. (PhD) samme sted 1981. Professor i dynamisk meteorologi ved UiO 1992–2005 og professor II samme sted og assisterende forskningsdirektør ved Meteorologisk institutt 2006–2018, gjesteforsker Det belgiske meteorologiske institutt 2008–2009 og Det europeiske værsenteret (ECMWF) 2010–2014. NAVF-stipendiat UiO 1979–1980, forsker ved Vassdrags- og havnelaboratoriet 1981, ved NILU 1982–1986, Meteorologisk institutt 1986–1992. Vitenskapelig produksjon, undervisning og forskerveiledning i dynamisk meteorologi, numerisk værvarsling, langtransporterte luftforurensninger og deres klimaeffekter, forutsigbarhet av vær og klima, og klima- og jordsystem-modellering.

Per-Ove Kjensli, f. 1955. Cand.real i meteorologi Universitetet i Oslo 1982. NAVF vitenskapelig assistent Institutt for geofysikk UiO 1983–1984. Geofysiker og IT-utvikler Loginfo AS Kjeller 1985–1988. Forsker Meteorologisk institutt – klimaavdelingen 1988–2001. Leder seksjon for klimadata, Meteorologisk institutt 2001–2010. Leder avdeling for klimatjenester 2011–2016. Seniorrådgiver observasjons- og klimadivisjonen Meteorologisk institutt fra 2016. Arbeidsområder: forvaltning og systemutvikling for observasjons- og klimadata, kvalitetskontroll, databaser, produksjonslinjer, produkter, metadata, kvalitetssikring.

Øyvind Nordli, f. 1943. Cand.real i meteorologi Universitetet i Oslo 1969, dr.philos. Universitetet i Bergen 2008. Har gjennom nesten heile yrkeslivet arbeid ved Meteorologisk institutt i Oslo. Overordna arbeidsoppgåver: å greie ut verknadene på det lokale klimaet av dei store vasskraftutbyggingane på 1970- og 1980-talet; analyse av klimaendringar frå den vesle istida til i dag. Forskar emeritus Meteorologisk institutt sidan pensjonering .

Lars Petter Røed, f. 1946. Cand.real i matematikk (mekanikk) Universitetet i Oslo 1972, dr.philos. (fysisk oseanografi) samme sted 1979. Seniorforsker Meteorologisk institutt 1994–2016 og professor II i oseanografi Universitetet i Oslo 1987–2016. Vitenskapelig assistent i oseanografi Universitetet i Bergen 1972–1974, og i mekanikk Universitetet i Oslo 1974–1976. Stipendiat Global Atmospheric Research Program (GARP), Universitetet i Bergen 1976–1980, gjesteprofessor i oseanografi Florida State University 1980–1981, forsker oseanografi Universitetet i Oslo 1981–1983, seniorforsker Det Norske Veritas 1983–1990. Forskningsdirektør NERSC 1990–1994, professor emeritus i oseanografi Universitetet i Oslo siden 2016 og emeritus Meteorologisk institutt siden 2016. Har hatt en rekke verv nasjonalt (Forskningsrådet) og internasjonalt (EUs forskningsprogram) og er forfatter av læreboken *Atmosphere and Oceans on Computers*, Springer Nature.

Personregister

- Abel, Nils Henrik 26
Abusland, Borghild 384
Alexandersson, Hans 174
Allen, Myles 281
Andersen, Jarl M. 121
Anderson, David 281
Andresen, Lars 47, 174, 185, 414
Apenes, Georg 24
Arnason, G. 76
Aspelien, Trygve 114
Asplin, Lars 292
Aspling, Göran 363
Aune, Bjørn 139, 145, 161, 168, 172, 184,
203, 364, 430
Austveg, Odd 352, 355
Baede, A.P.M. 109
Bakke, Halvard 385
Bakken, Per 139
Barlaup, Asbjørn 49
Bauer, Peter 132
Benestad, Rasmus 45, 273, 280, 300, 304,
313, 315, 316
Bengtsson, Lennart 102, 239, 246, 254,
339, 341, 362, 379, 381, 395, 397
Bentsen, Mats 273
Berg, Torunn 245
Berge, Erik 103, 304, 364
Bergeron, Tor 78
Bergersen, Birger 328
Bergthorsson, P. 76
Berntsen, Terje 304
Bertino, Laurent 292
Birkeland, Bernt Johannes 174, 178–80,
182, 184, 191, 194
Birks, Hilary 176
Birks, John B. 57, 176
Bjerke, André 24
Bjerke, Siri 269
Bjerknes, Jack 64, 74, 77–79
Bjerknes, Vilhelm 26, 29, 44, 53–55,
62–66, 68, 69, 74, 78, 80, 130, 132,
178, 339, 364, 409, 465
Bjørnbæk, Gustav 161, 162
Bjørge, Dag 125, 233, 254, 255
Bjørheim, Knut 92, 218, 376
Blindheim, Johan 140
Blumen, William 89
Bolin, Bert 26, 76, 86, 231, 256, 257, 339,
362, 363, 391
Borgen, Kjell 416
Borten, Per 137, 322
Boye, Thore 328
Bratseth, Arne 87, 89, 93, 94, 97–101,
233, 363
Breistein, Per M. 52, 80, 356, 357, 366,
369, 373
Breivik, Lars Anders 111
Breivik, Øyvind 289, 292
Bremnes, Ole 89, 95, 376
Brende, Børge 271
Broch-Mathisen, Kirsten 140
Brosset, Cyrill 362, 393
Brundtland, Gro Harlem 139, 224, 256
Brunet, Gilbert 132
Bruun, Inger 161, 174, 184, 185, 206
Brækkan, Ragnar 189, 190
Braathen, Geir Ole 139, 304, 390
Buch, Hans S. 362, 363
Busch, Erik 108
Bush, Vannevar 25
Børresen, Jan A. 91, 206
Baalsrud, Kjell 137, 353

- Carrasco, Ana 289
 Cats, Gerard 108, 111
 Charney, Jule 63, 64, 69, 71, 72, 74, 76, 79, 82, 86, 90, 94, 408
 Chen, Deliang 254, 281
 Christensen, Christian 394
 Christensen, Jens H. 239, 254
 Christensen, Kai Håkon 292
 Cox, Tony 333, 392, 393
 Cressman, George P. 72, 88
 Crutzen, Paul 360, 389, 391
 Cubasch, Ulrich 252, 255
 Dagestad, Knut Frode 292
 Dahl, Birgitta 392
 Dahl, Guri 51
 Dahl, Odd 342, 343, 345
 Dalen, Lars Sandven 403–05, 407, 409–11
 Debernard, Jens 290
 Deckmyn, Alex 118
 Déqué, Michel 255
 Devik, Olaf 186
 Dobler, Andreas 304
 Dovland, Harald 42, 139, 304, 409
 Drange, Helge 56, 236, 245, 250, 252, 256, 273, 410
 Dyrddal, Anita Verpe 167, 171, 306
 Døvle, Per 387, 390
 Döös, B. 76
 Eerola, Kalle 108
 Eidem, Bjarne Mørk 394
 Ekerold, Hagbard 187
 Eliassen, Anton 15, 27, 33, 35, 45–47, 107, 108, 126, 139, 140, 147, 172, 213, 233, 241, 251, 303, 304, 306, 311, 317, 321, 361, 362, 385–87, 391, 392, 395, 396, 398, 403, 409
 Eliassen, Arnt 51, 52, 64, 65–69, 71, 74–76, 78–85, 87–90, 95, 98, 99, 110, 138, 331, 335, 336, 341, 342, 344, 351, 354, 357, 359, 364, 375, 377–79, 399, 400, 402, 465
 Emanuel, Kerry 101
 Engedahl, Harald 290
 Esmark, Jens 178, 182
 Fagerli, Hilde 304
 Farman, Joe 389
 Fjørtoft, Ragnar 26, 51, 52, 64, 65, 68–70, 74, 75, 78, 80, 81, 84, 85, 87, 88, 91, 98, 138, 329–52, 357, 359, 361, 364, 366–68, 375, 378, 383, 384, 395, 396–99, 402, 465
 Fjørtoft, Ragnhild 399, 402
 Flatøy, Frode 103, 364
 Foldvik, Arne 52, 53, 56, 80
 Foss, Anstein 102, 103, 119, 363
 Frogner, Inger-Lise 117, 118
 Fuglestvedt, Jan S. 304
 Furevik, Tore 306
 Førland, Eirik J. 45, 150, 152, 153, 159, 161, 168, 171, 184, 185, 192, 197, 218, 244, 245, 250, 252, 255
 Føyn, Nils Johan 178, 181
 Gauss, Michael 300, 304
 Ghan, Steve 255
 Gjessing, Yngvar 364, 423
 Gjærevoll, Olav 137, 323, 325
 Godske, Carl Ludvik 78, 364
 Goksøyr, Jostein 53
 Gotaas, Yngvar 52, 80, 360
 Grammeltvedt, Arne 89, 90, 91, 95, 138, 139, 245, 330, 351, 354, 364, 377, 383, 385, 389, 392, 394, 395, 398, 399, 402, 428
 Granat, Lennart 362
 Grasbakken, Ove 47, 414
 Grue, John 52
 Grønskei, Knut Erik 90, 360
 Grønås, Sigbjørn 50, 86, 92, 94, 99, 100, 101, 103, 108, 112, 225, 245, 266, 267, 363, 366, 381–83
 Guldborg, Cato M. 61
 Gustafsson, Nils 108, 110, 111
 Gøthe, Odd 338, 344, 345, 352
 Hackett, Bruce 290, 291
 Hafkenschied, Leo M. 108
 Hafnor, Ole-Andreas 425–27, 437, 468
 Haga, Per 380, 388, 389, 392
 Hagen, Leif Otto 360
 Hald, Morten 176

- Halvorsen, Kristin 269–71
 Hammarstrand, Ulla 249
 Hansen, James 408
 Hanssen-Bauer, Inger 45, 185, 192, 248, 255, 304–06, 315
 Harris, Neil 393
 Harstveit, Knut 47, 414, 415, 417, 418, 422–25, 428, 433, 434, 436, 442
 Hassel, Odd 302
 Hasselmann, Klaus 138
 Haug, Odd 76, 77, 84, 86, 101, 289, 357, 376
 Haugan, Peter M. 50, 217, 248
 Haugen, Jan Erik 45, 108, 111, 114, 119, 197, 255
 Hedstrøm, Kate 260
 Heidam, Niels 391
 Hellevik, Oddvar 89, 93, 94, 99, 100, 363
 Hermansen, Tormod 387
 Hesselberg, Theodor 173, 174, 191, 399
 Hesstvedt, Eigil 27, 52, 53, 80, 297, 298, 299, 302, 357, 359–61, 364, 389, 409
 Hestmark, Geir 182
 Hinkelmann, K. 76
 Holberg, Karl 352–53
 Holmboe, Jørgen 74, 75, 79
 Homleid, Mariken 111, 121
 Hoskins, Brian 66, 67
 Houghton, John 395
 Hov, Øystein 15, 27, 45–47, 52, 133, 140, 147, 149, 211, 218, 220, 233, 295, 299, 304, 313, 317, 321, 333, 341, 342, 361, 387, 391–93, 403, 409
 Hovmøller, E. 76
 Høiland, Einar 27, 51–53, 63–66, 74, 79, 81, 83, 89, 297
 Høiskar, Britt Ann K. 245
 Haakenstad, Hilde 211
 Haaland, Lars 86, 289
 Haaland, Lorri 161
 Haan, Bronno de 108
 Iden, Knut 45, 210
 Ims, Rolf Anker 204
 Isaksen, Ivar 27, 248, 250, 251, 298–301, 304, 360, 361, 364, 385–87, 389–92, 398, 409
 Isaksen, Ketil 45, 186, 201, 202, 204
 Iversen, Trond 27, 44, 45, 47, 52, 58, 90, 100, 101, 142, 143, 147, 223, 234, 236, 240, 244, 245, 252, 273–76, 304, 363, 375, 403, 410
 Jansen, Eystein 56, 217, 410
 Jingmeng, Zou 399, 402
 Johannessen, Johnny 292, 294
 Johannessen, Ola M. 56
 Johannessen, Thor Werner 136, 159
 Johnsen, Magnar Gullikstad 50
 Joranger, Einar 360
 Järvenoja, Simo 108
 Jørgensen, Anne Mette 108
 Kalvig, Siri 315
 Kanestrøm, Ingolf 138
 Kirkevåg, Alf 275, 276, 304
 Kjelberg, Arve 351, 365–67, 371, 394
 Kjensli, Per-Ove 47, 165, 414
 Kleinschmidt, E. 76
 Knudtzon, Nicolai H. 345
 Kristiansen, Jørn 29, 127
 Kristiansen, Thorleif Aass 51, 64, 66, 70, 335, 342
 Kristjánsson, Jón Egill 103, 111, 114, 234–36, 246, 250, 252, 275, 316, 364
 Krogness, Ole Andreas 186
 Kvamstø, Nils Gunnar 56, 103, 235, 236, 245, 250, 252, 364
 Kvasheim, Gunnar 215
 Kveseth, Kari 304
 Kvifte, Gottfred 352, 353
 Källén, Erland 111, 235, 240, 252, 254–56
 Køltzow, Morten Ø. 127, 261
 Kållberg, Per 108
 Kaas, Egill 254, 281
 Landgren, Oskar A. 304
 Langlo, Kaare 138, 324, 330, 351, 354, 368–75, 380–84, 398
 Langslet, Lars Roar 381, 382
 Larsen, Eilif 176

- Lien, Vidar 292
 Lindzen, Richard 342
 Loeng, Harald 56, 210, 219
 Lorenz, Ed 77, 85, 91, 94, 335, 374, 378
 Lunder, Chris R. 245
 Lykke, Erik 137, 326, 333, 337, 338, 342, 344, 350, 352, 353
 Lynch, Peter 63, 112
 Lyng, John 326, 327, 334
 Lystad, Magne 50, 86, 92, 94, 100, 102, 252, 363
 Machenhauer, Bennert 108, 238, 239
 Mahoney, J. R. 362
 Major, Robert 344, 345, 353
 Manabe, Syukuro 138
 Mangerud, Jan 56, 57, 140
 Mann, Michael 316
 Martinsen, Eivind 245, 289, 290
 Mason, John 341
 Mauritzen, Cecilie 315
 Mégie, Gerard 392
 Mellbye, Fredrik 345, 352, 353
 Melsom, Arne 291
 Mestre, Olivier 175
 Midtbø, Knut Helge 101, 363
 Moen, Lars 108
 Mohn, Henrik 61, 134, 167, 172, 400
 Moi, Arne 395
 Molina, Mario J. 389
 Mølen, Gunstein Uleberg 366, 367
 Narayanamurti, Venkatesh 23, 32
 Nesje, Atle 57, 176
 Neumann, John von 64, 65, 69, 79, 336
 Newton, C. 76
 Nielsen, Niels Woetmann 108
 Nieminen, Rauno 108
 Nilsen, Yngve 50, 52
 Nordbø, Eldrid 256, 266
 Nordeng, Thor Erik 90, 94, 96, 99, 100, 101, 103, 108, 111, 218, 245, 250, 269, 363
 Nordli, Øyvind 45, 173, 175, 178, 194
 Nordlund, Gøran 362, 363, 391
 Nordø, Jack 52, 80, 85, 325, 332, 333, 335, 357, 360–63, 371, 373, 376, 380
 Nyberg, Alf 27, 77, 324, 325, 339–41, 361, 396
 Nyborg, Per 371, 372
 Nychka, Doug 281
 Obasi, G. O. P. 399, 400, 402
 Odén, Svante 325
 Odumosu, Toluwalogo
 Omholt, Anders 353
 Omholt, Dag 328
 Onvlee, Jeanette 116
 Orheim, Olav 35, 50, 255–57
 Orvedal, Linda 35
 Ott, Heinrich 392
 Ottar, Brynjulf 27, 101, 137, 138, 302–04, 325, 332–34, 361, 363, 365, 393, 408
 Overrein, Lars 139
 Oyola, Pedro 391
 Paegle, Jan 95
 Palm, Enok 52, 53, 80
 Pedersen, Kaare 52, 80, 90, 94, 96, 342, 375
 Pedersen, L. B. 363
 Penkett, Stuart 333, 393
 Persson, Anders 70, 75
 Persson, Christer 362, 363
 Persson, Gøran 362
 Pettersen, Sverre 64, 75, 78, 79, 90
 Phillips, Norman 71, 76, 82
 Pielke, Roger jr. 22, 39, 386, 398
 Pommereau, Jean Pierre 392
 Prahm, Lars 363
 Pyle, John A. 392
 Rahmsdorf, Stefan 316
 Randall, Dole 276
 Randers, Jørgen 325
 Randriamampianina, Roger 118
 Rasch, Phil 114, 234, 235, 244, 255
 Raustein, Elmer 89
 Reiersen, Lars-Otto 27, 189
 Reistad, Magnar 210, 289
 Richardson, Lewis Fry 62–64, 78, 79, 130
 Riis, Eyvind 52, 80
 Rinne, Juhanni 108
 Rodhe, Henning 339, 362, 391

- Roosevelt, Franklin D. 25
 Rosland, Audun 306
 Rossby, Carl-Gustaf 64, 68, 69, 71,
 73–79, 82, 339
 Rowland, F. Sherwood 389
 Rudsar, Rebecca 102, 363
 Rummukainen, Markku 240, 254
 Røed, Lars Petter 45, 244, 246, 250,
 287, 290
 Røhrs, Johannes 292
 Rønbeck, Sissel 390–92
 Saltbones, Jørgen 361, 362
 Samset, Bjørn 304
 Sass, Bent Hansen 108
 Sattler, Kai 117
 Schliermeier, Quirin 213
 Schmidt, Gavin 316
 Schou, Georg 184
 Schulz, Michael 222, 255, 277, 278, 304
 Schumacher, Nils Jørgen 357
 Schyberg, Harald 5, 115, 218, 342
 Sejrup, Hans Petter 176
 Seland, Øyvind 275, 276, 304
 Shapiro, Mel 94
 Shi, Xiaobing 291
 Simon, Paul 392
 Simpson, David 304
 Singleton, Andrew 118
 Sivertsen, Bjarne 360
 Sivertsen, Helge 328
 Skadsem, Enevald 328, 332, 336–39, 344,
 345, 350–52, 365, 371, 380, 381, 383,
 384, 397, 399
 Skagseth, Øystein 219
 Skogmo, Bjørn 344
 Skålin, Roar 248, 254
 Slørdal, Leiv Håvard 245, 290
 Smebye, Sigurd 52, 82, 84, 86
 Smith, Eyvind 428, 430, 440
 Smith, F.B. 363
 Smith, Ron 94
 Solberg, Halvor 63–66, 78, 297, 389
 Solhjell, Bård Vegar 306
 Sollid, Johan Ludvig 202, 203
 Sperrevik, Ann Kristin 292
 Sperstad, Hans P. 353
 Steffensen, Esther Lothe 191, 192
 Stephenson, David 281
 Stoltenberg, Jens 31, 38, 269, 271
 Storch, Hans von 254, 281
 Stordal, Frode 233, 244, 246, 249, 299,
 304, 389
 Storelvmo, Trude 275, 277, 278
 Stray, Svenn 344
 Sundqvist, Hilding 96, 99, 103, 235, 331,
 364, 384
 Surlien, Rakel 428–30, 438
 Sutton, Rowan 281
 Svendsen, Einar 292
 Svendsen, Lillian 357, 395
 Sverdrup, Harald U. 75, 78
 Szentimrey, Tamás 175
 Sælhun, Ambjørge 381, 382
 Sætersdal, Olaf 387
 Sætra, Øyvind 226, 290, 292
 Sørbo, Hans 371, 372, 394
 Tarrason, Leonor 304
 Terray, Laurent 255
 Thompson, Jan 139, 385–87, 391
 Thompson, Philip Duncan 63–65, 70,
 73, 74, 79
 Thorarinsdottir, Thordis 281
 Thorpe, Alan 132
 Thrane, Peter 329
 Todsén, Marius 52, 80, 89
 Tollan, Arne 50, 139
 Toresen, Håvard 141
 Torp, Ulrich 363
 Trægde, Kristian 52
 Tveito, Ole Einar 168
 Tønset, Snorre 42
 Tørseth, Kjetil 304
 Taalas, Petteri 392
 Undén, Per 107, 109, 114–16
 Utaaker, Kaare 357, 359, 364
 Versino, Bruno 393
 Vignes, Ole 114, 120
 Vikabø, Frode 292
 Vogt, Hersleb 344, 353
 Vollset, Magnus 51, 52

FORSKNING TIL SAMFUNNSNYTTE

Washington, Warren 90, 139
Whelpdale, Doug 362
Wiborg, Jan 415, 428–30, 437–41
Widvey, Thorild 36
Wiener, Norbert 77
Wiin-Nielsen, Aksel C. 91, 366, 394
Worren, Tore 140
Yang, Xiaohua 117

Zorita, Eduardo 281
Økland, Hans 85–89, 91–94, 98, 99, 298,
352, 354, 357, 376
Ørstavik, Inger 24
Østerhus, Svein 220, 225
Ådlandsvik, Bjørn 244, 250, 252, 292
Aanderaa, Ivar 151, 190, 343
Aasland, Tora 215, 217, 218

Sammendrag

1

Forskning til samfunnsnytte – trekk ved nyere norsk meteorologisk forskning

I meteorologisk forskning til samfunnsnytte utgjør observasjoner og numerisk modellering grunnlaget for å utvikle eller forbedre prognoser og spesialisert informasjon om vær, klima og miljø. Slik informasjon og slike tjenester formidles for å redde liv, beskytte samfunnets infrastruktur slik som i transportsektoren både til lands, vanns og i luften, og til å redusere mange av risikoelementene i produksjonslivet, slik som i landbruket og i energiforsyningen. Erfaringene som vinnes gjennom anvendelsene, brukes videre i forskningen. Dette er «forskning til samfunnsnytte» i praksis. Framover vil meteorologiens samfunnsbetydning være økende, ikke bare gjennom værvarslene, men gjennom transformasjonen av energisystemet – energiomstillingen. Utvinningen av energi fra fossile karbonholdige reserver under bakken må erstattes av høsting av vind-, sol- og vannkraft på jordens overflate, og der de lokale meteorologiske forhold til enhver tid avgjør energiproduksjonen. Klimautviklingen fører til en annen fordeling og konsekvenser av værhendelser (temperatur, nedbør, vind) og til endringer i de biogeokjemiske kretsløpene av f.eks. karbon og nitrogen og i forholdene til havs. Artikkelen presenterer videre de fem artiklene som utgjør bokens hovedinnhold, og det er en gjennomgang av tidligere publikasjoner om norsk meteorologisk forskning.

2

Numerisk værvarsling ved Meteorologisk institutt og norsk akademia

Det har tatt drøyt et hundreår fra Vilhelm Bjerknes' erkjennelse av at værvarsling er et initialverdiproblem i klassisk fysikk, til vi nå faktisk varslar været uten subjektive vurderinger fra en meteorolog på vakt. Dette er resultat av et frivillig, konstruktivt og langsiktig samarbeid for å oppnå noe alle har nytte av. I denne artikkelen vises det hvordan norske forskere på vesentlige måter har bidratt til denne viktige historien. Det er mange viktige milepæler for norske bidrag: Arnt Eliassens og Ragnar Fjørtofts deltagelse i det konseptuelle gjennombruddet ved Princeton, USA, etter andre verdenskrig; aktiv deltagelse av flere i Carl Gustaf Rossbys prosjekt i Stockholm på 1950-tallet; egen operasjonell produksjon og utstrakt samarbeid med miljøer i USA på 1960-tallet; operasjonell produksjon med den genuint norske «limited area model» (NorLAM) på 1980-tallet; faglig sterke bidrag til det første europeiske forskningskonsortiet HIRLAM i Nord- og Vest-Europa, etter hvert også i samarbeid med forskningskonsortiet ALADIN, som dekker sentrale deler av Kontinentet, fra andre halvdel av 1980-tallet til i dag; og grunnleggende utvikling og gjennomføring av det første operasjonelle samarbeidet over landegrenser i Norden (MetCoOp) siden 2011 til i dag.

3

Norsk klimaforskning og meteorologisk institutts rolle

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 som Meteorologisk institutt stod for, mest knyttet til paleoklima, havenes sirkulasjon og biogeokjemiske kretsløp av kjemiske sporstoffer som påvirker atmosfærens varmembalanse. Klimasystemforskning i Norge begynte utover på 1990-tallet ved flere institusjoner og omfatter nå alle jord-

systemets elementer (atmosfære, hav, landjord, is, biogeokjemiske kretsløp) og deres sammenkoblinger, og med mange nasjonale og internasjonale forgreninger.

4

Veien til Norges medlemskap i ECMWF

Det tok over 15 år fra konvensjonen for European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) ble etablert og satt i verk til Norge ble medlem fra 1. januar 1989. Dette utgjorde en hemsko for norsk forskning og værvarsling. Gjennomgang av Meteorologisk institutts arkivmateriale og konsultasjon med enkelte nøkkelpersoner nasjonalt og internasjonalt viser at hovedårsaken til at Norge som eneste land som deltok i forhandlingene om opprettelse av ECMWF ikke sluttet seg til, er at Meteorologisk institutts direktør mente at senteret var «helt unødvendig». ECMWF er både et forskningsinstitutt og en 24/7/365 operasjonell tjeneste og er et forbilde i meteorologisk forskning til samfunnsnytte. Senteret produserer globale numeriske værprognoser og annen digital informasjon, og er også en infrastruktur av stor betydning i vær-, klima- og miljøforskning i medlemslandene og etter hvert globalt. ECMWF disponerer en av verdens største supercomputere og datalagringsfasiliteter. Senterets tjenester stilles først og fremst til medlemslandenes rådighet, men ECMWF yter også omfattende bistand i bruk og anvendelse av produktene til WMO og WMOs medlemsland. Kvaliteten på ECMWFs værvarsler og produkter har utviklet seg raskt, i de siste tiårene har man vunnet «one day per decade». Det innebærer f.eks. at varselet for den fjerde dagen er like godt som varselet var for den tredje dagen ti år tidligere. ECMWF har i over 40 år vært verdensledende og er av avgjørende betydning for eksempel for Meteorologisk institutts evne til å løse sitt samfunnsoppdrag – å sikre liv og verdier.

5

Norske forskeres varsling av klimaendringer før IPCC

Artikkelen gjengir et tilsvaret til et innlegg på forskning.no i 2021 og trykt i Mediehistorisk tidsskrift med overskriften «Hvorfor varslet ikke norske forskere om klimaendringene tidligere?». Vi mener at det ikke var faglig grunnlag for 30–60 år siden til å avvise tanken om menneskeskapt klimaendringer, men det var heller ikke grunnlag for skråsikkerhet om hvor viktige disse kunne komme til å bli 2-3-4 dekaner senere. Norske klimaforskere har gitt betydelige bidrag fra slutten av 1990-tallet til i dag til den allmenne opplysning om mulighetene for og virkningene av menneskeskapt klimaendringer. Men for 30–60 år siden var observasjoner som grunnlag for å detektere eventuell global oppvarming mangelfulle, og de antydte snarere en langsom global avkjøling enn en oppvarming fram til midten av 70-tallet. Det var ikke kjent at en slik tendens til global avkjøling delvis kunne skyldes svovelforurensing, som er knyttet til sur nedbør. Norske klimaforskere har siden IPCC startet (1988) tatt opp tradisjonen fra miljøforskningen på 1960–1980-tallet med aktivt å kommunisere sine forskningsresultater til allmenhet og beslutningstakere. Dette har utvilsomt bidratt betydelig til den allmenne forståelsen av globale klimaendringer som vi har i dag. Det vitenskapelige grunnlaget fram til slutten av 1980-tallet ga verken grunnlag for å undersøke betydelig usikkerhet eller å avvise mulighetene for menneskeskapt global oppvarming.

6

Måleprosjektet på Hurum

Etter en intens dragkamp mellom Hurum- og Gardermoen-tilhengere valgte Stortinget 8.juni 1988 Hurum som sted for bygging av storflyplass. Det norske meteorologiske institutt (DNMI) fikk deretter i oppdrag å kartlegge detaljer i hyppighet av lav sikt, samt vindhastighet og vindretning, generelt, og spesielt ved lav sikt. I tillegg skulle forhold som kunne medføre glatte rul-

lebaner kartlegges. Sammen med de naturgitte topografiske forholdene på Hurum ville dette ha betydning for planlegging av rullebaneplasseringer på åsene.

Måleprosjektet ga grunnlagsdata for en detaljert klimatologisk analyse, med det resultat at Luftfartsverket ikke kunne anbefale utbygging av Hurum.

Måleprosjektet på Hurum og ansatte ved DNMI ble fra start utsatt for mistenksomhet, mistro, fantasifulle påstander og rykter. Kort sagt: Forholdene på Hurum kunne ikke være slik målingene viste, noe måtte være feil. Lobbyvirksomhet i flyplassaken var en sterk drivkraft. Tilhengerne av Hurum benyttet aktivt media for å målbære sin mistro til målingene, ikke minst i Aftenposten i en tidlig fase, og fagpersoner fikk ikke inn sine motinnlegg. Senere ble dette fulgt opp av NRKs Brennpunkt (1998, 1999), flere bøker, og nå sist TVNorges produksjon «Mannen som falt» fra 2020.

Allerede under prosjektet ble det satt ned en styringsgruppe (Hafnorutvalget) som kvalitetssikret flere sentrale metoder, instrumenthåndtering og resultater. Senere, og etter sterkt offentlig fokus på mulige feil og mangler i kvalitetssikring, oppnevnte Samferdselsdepartementet i juli 1992 en ekspertgruppe (Surlien-utvalget) som konkluderte at de ikke fant avgjørende feil i prosjektet (Surlien: Vurdering av værmålingene på Hurum, november 1992). Etter oppslaget i NRK Brennpunkt og påfølgende medieoppslag nedsatte Stortinget en granskningskommissjon som kom til samme resultat (Smith-kommisjonen, Dokument nr. 18, 2000–2001). Begge granskningene gikk grundig til verks med undersøkelser, intervjuer og bruk av anerkjente fagmiljøer.