

# Norsk Geofysisk Forening 100 år





# Norsk Geofysisk Forening 100 år

En samling artikler i anledning foreningens  
100-årsjubileum i 2017

Magnar Gullikstad Johnsen (red.)

© Norsk Geofysisk Forening, 2017  
Produksjon: Nordisk Trykk  
ISBN (trykt) : 978-82-303-3582-6  
ISBN (e-utgave): 978-82-303-3786-8



# Styrets Forord

Med denne boka ønsker Norsk Geofysisk Forening å vise den historiske utviklingen til de geofysiske fagene og litt av den betydningen de har og har hatt for samfunnet. De siste 100 år har menneskeheten opplevd en formidabel vekst og industriell fremgang. Energien til denne veksten ble oppspart for mer enn hundre millioner år siden da de organismer som den gang levde ble til det kull, olje og gass som forbrennes i dag. Forbrenningen har ført til et samlet utslipp på mer enn 2100 milliarder tonn CO<sub>2</sub> til atmosfæren. Det har lenge vært kjent at økningen i utslipp av CO<sub>2</sub> til atmosfæren fører til en økning av temperaturen på jorden samt et utall av andre effekter.

Geofysikk har spilt en avgjørende rolle både for å lokalisere og hente opp oljen i Nordsjøen, samt å påvise klimaendringene som følge av dette. På samme måten er geofysikk viktig når vi planlegger for å tilpasse oss klimaendringene som kommer, og for kartlegging og høsting av mer fornybare ressurser fra vind, vann, sol og jord som må bli fremtidens energiformer.

Hovedformålet for Meteorologisk Institutt er å varsle været for å sikre liv og verdier. Dette slagord kunne flere ha tatt, for mange av fagene innenfor geofysikk handler om å sikre liv og verdier. I dag modelleres klimaendringer og det forskes innen sesong- og dekadearvsling av været. Det utsendes nordlysvarsel for infrastrukturen i rommet, og spenninger i jordskorpen overvåkes for å kunne si noe om risiko for jordskjelv. Vi benytter modeller for nedbør og vann i jordsmonnet for å kunne varsle flom, og geodesien er uunnværlig for geografisk posisjonering som inngår i de kartbaserte tjenestene vi er avhengige av.

Norsk Geofysisk Forening er 100 år i 2017, og denne boka er skrevet i anledning jubileet. Takket være nye måleteknikker, en enorm økning i regnekraft, og internettet er alle de geofysiske fagene blitt revolusjonert de siste 25 år. Denne boka viser dette med all tydelighet. I 1917 var det behov for en forening hvor de få medlemmene kunne møtes en gang om året og diskutere sine resultater og legge planer. I 2017 er geofysikk for lengst etablert med anerkjente fagområder som har utallige internasjonale konferanser og dedikerte tidsskrifter. NGF har gjennom hele sin 100 år lange levetid fungert som en møteplass for geofysikere i Norge. På samme måten som denne boka,

## STYRETS FORORD

bidrar de årlige symposier til å gi medlemmene oversikt over og smakebiter fra det enorme forskningsområdet som geofysikken har utviklet seg til i løpet av foreningens levetid.

Boka har blitt til som et dugnadsarbeid utført av noen av dagens fremste forskere og formidlere innen fagfeltene i geofysikk. Forfatterne fortjener alle en stor takk for deres bidrag. Ikke minst takk til Magnar G. Johnsen som har samlet og redigert alle delene til en helhet.

Januar 2017

*Birgitte Furevik, Valerie Maupin og Stephen Hudson*

# Redaktørens forord

Det er med glede jeg kan presentere denne boken i anledning Norsk Geofysisk Forenings (NGF) hundreårsjubileum. Arbeidet med boken startet i det små høsten 2013 med undertegnede som redaktør. Samtidig ble det opprettet en jubileumskomiteé ledet av Magne Lystad med medlemmene Bjørn-Geirr Harsson, Alv Egeland og Eivind Thrane, alle veteraner i foreningen. Jeg vil gjerne rette takk til disse, samt NGFs styre, som har vært tilstede og hjelpelige både med å dytte prosjektet fremover i en hektisk hverdag og til å diskutere praktiske aspekter. Jeg vil også rette en stor takk til Njål Gulbrandsen ved UiT. På tampen har hans hjelp vært uvurderlig for å komme i mål med den siste versjonen av boka.

Bokprosjektet må ses på som et dugnadsprosjekt, forfatterne som alle er velkjente skikkelser i sine respektive felt, har lagt ned adskillige timer for å realisere boka. Siden foreningens historie ble grundig behandlet ved 75-årsjubileet, var det i forbindelse med 100-årsjubileet ønskelig å se nærmere på de ulike fagretningenes historie og utvikling gjennom foreningens historie. Det ville naturligvis også være nødvendig i enkelte tilfeller å trekke historien lengre tilbake i tid, men fokus har vært på perioden 1917 – 2017. Forfatterne har fått svært frie tøyler; jeg har i liten grad lagt meg opp i hva hver enkelt har fokusert på og prioritert i sine kapitler. Det vil uten tvil være en viss debatt innad i hvert fagområde om hva som er viktig og bør tas med i en slik beretning! I boken vil man finne skildringer av fagretningenes historie, deres kobling til NGF og tanker om fremtiden. Forfatterne ble bedt om å skrive for et bredt publikum, men ikke for enkelt. Målgruppen ble definert til å ligge på førsteårsnivå på universitetet og oppover. Det gjenstår for leseren å bedømme om vi har lyktes, men jeg føler ihvertfall at vi har lyktes i å illustrere hvilke stolte fagtradisjoner foreningen vår representerer.

I et år som dette, hvor vi feirer oss selv, kunne det være på sin plass med noen tanker rundt fremtiden. Selv representerer jeg den yngre garde i foreningen. Gjennomsnittsalderen er høy, i horisonten skimter vi utfordringer rundt rekruttering for å minst kunne opprettholde medlemstallet, og det foregår relativt liten aktivitet i foreningen utenom årsmøtene. Man kan spørre seg om hva vi — de yngre medlemmene — ønsker å bruke foreningen til og hva som kan gjøre den mer attraktiv for oss. Dette

## REDAKTØRENS FORORD

bør og vil være et fokusområde når vi starter på neste 100-års periode.

Vi ser også at foreningen i dag har mindre betydning og innflytelse enn hva den en gang hadde. Når det er sagt — og slik har det nok alltid vært — er årsmøtene i foreningen svært viktige som en intern møteplass for geofysikere. Det er få fora hvor de ulike fagretningene innen geofysikk i Norge har anledning til å møtes og formidle hva vi holder på med til et bredere publikum. Årsmøtene er svært stimulerende, og jeg opplever selv at min horisont utvides gjennom deltagelsen. Vi må derfor ikke undervurdere årsmøtenes rolle som rettferdiggjøring av foreningens eksistens. Det synes likevel naturlig at man i foreningen også bør jobbe for mer utadrettet aktivitet og synlighet. Jeg mener absolutt at foreningen fremdeles har en plass i offentligheten, og det er roller den kan inneha. Eksempler på dette er Norges medlemskap i og arbeid med IUGG og ikke minst arbeidet med opprettholdelsen og formidling av viktigheten til lange geofysiske måleserier i Norge, for å nevne to.

Med dette vil jeg ønske oss selv til lykke med 100-årsjubileet, og måtte foreningen blomstre i årene som kommer!

Tromsø, 18. mai 2017

*Magnar Gullikstad Johnsen*

# Innhold

Styrets Forord	v
----------------	---

Redaktørens forord	vii
--------------------	-----

Kapittel 1 – Historisk overblikk	I
----------------------------------	---

AV MAGNAR GULLIKSTAD JOHNSEN

Begynnelsen . . . . .	3
Historien i korte trekk (1917 – 1992) . . . . .	6
NGF frem til i dag – de siste 30 år . . . . .	11
Referanser . . . . .	21

Kapittel 2 – Geodesi	23
----------------------	----

AV BJØRN GEIRR HARSSON

Hva er geodesi? . . . . .	25
Forhistorie . . . . .	25
Jordens form og størrelse . . . . .	28
Den russisk-skandinaviske gradmålingen . . . . .	29
Geodesiens stilling omkring 1917 . . . . .	31
Utviklingen av det horisontale grunnlagsnettet . . . . .	33
NGO1948 . . . . .	35
Utviklingen av det vertikale nettet . . . . .	44
Utviklingen av tyngdemåling . . . . .	48
Geodesiens stilling i 2017 . . . . .	58
Fremtidsutsikt for geodesi . . . . .	59
Referanser . . . . .	60

## INNHold

### Kapittel 3 – Seismologi og den faste jords fysikk 61

Av HILMAR BUNGUM

Sammendrag . . . . .	63
Bakgrunn . . . . .	63
En famlende start for et nytt fag . . . . .	65
En ny tid; nye perspektiver . . . . .	69
Faglig og institusjonell ekspansjon . . . . .	71
Hvilke vinder blåser nå? . . . . .	77
Referanser . . . . .	79

### Kapittel 4 – Glasiologi 81

Av OLAV ORHEIM

Hva betyr glasiologi? . . . . .	83
Fagets stilling ved opprettelsen av foreningen. . . . .	83
Høydepunkter og nedturer gjennom 100 år. . . . .	85
Det Internasjonale Polaråret ga betydelig løft . . . . .	90
Glasiologiens stilling ved 100-års jubileet. . . . .	92
Referanser . . . . .	102

### Kapittel 5 – Hydrologi 103

Av ARNE TOLLAN

Forhistorien. Tiden før 1917 . . . . .	105
En nasjonal hydrologisk tjeneste . . . . .	106
Hydrologien i bistandsarbeidet . . . . .	107
Hydrologiens betydning for nasjonaløkonomien. . . . .	108
Kartlegging og overvåking . . . . .	110
Stasjonsnett, måleteknikk, datainnsamling, databehandling . . . . .	111
Fra «klassisk» overflatehydrologi til faglig spredning . . . . .	115
Forskning og internasjonalt samarbeid . . . . .	119
Undervisning . . . . .	121
Hydrologifaget og NGF . . . . .	122

## INNHold

Personellbehov . . . . .	122
Fremtidsperspektiv . . . . .	123
Konklusjon . . . . .	123
Referanser . . . . .	124
<b>Kapittel 6 – Meteorologi</b>	<b>129</b>
Av SIGBJØRN GRØNÅS OG MAGNE LYSTAD	
Bakgrunn . . . . .	131
Bjerknes' visjon for værvarsling . . . . .	131
Utvikling av værvarslingsmodeller . . . . .	134
ECMWF . . . . .	135
Norsk NWP . . . . .	136
Dagens værvarslingsmodeller . . . . .	137
Forutsigbarhet for værvarsling . . . . .	140
Forutsigbarhet for værvarsling . . . . .	143
Om YR – Værvarsling på nett . . . . .	144
Oppgaver framover . . . . .	149
Referanser . . . . .	149
<b>Kapittel 7 – Oseanografi</b>	<b>151</b>
Av PETER HAUGAN	
Forhistorie og utvikling fram mot 1917 . . . . .	153
Utviklingen og noen høydepunkter 1917–2017 . . . . .	156
Faget og foreningen . . . . .	168
Hvor står vi nå? . . . . .	169
Referanser . . . . .	170
<b>Kapittel 8 – Romfysikk</b>	<b>173</b>
Av ASGEIR MØLMEN BREKKE	
Kristian Birkeland etablerte verdens første Nordlysobservatorium . . . . .	175

## INNHold

Resultatene fra Haldde-ekspedisjonen 1899–1900 . . . . .	176
Birkelands endelige strømmmodell . . . . .	179
Partikkelbane-beregninger av Carl Størmer . . . . .	181
Ny tid på Haldde . . . . .	183
Høydemålinger av nordlys . . . . .	184
Striden om Birkelands nordlysteori . . . . .	187
Den grønne linja . . . . .	189
Opprettelsen av Nordlysobservatoriet . . . . .	191
Protonnordlyset . . . . .	191
Studier av magnetiske forstyrrelser . . . . .	192
Observasjoner av ozon-innholdet i atmosfæren . . . . .	195
Radiundersøkelser av den polare Ionosfæren . . . . .	196
Nordlysforskningen inn mot romalderen . . . . .	198
Opprettelsen av Andøya Rakettskytefelt . . . . .	200
Nordlysforskningen inn i et nytt årtusen . . . . .	204
Oppsummering . . . . .	206
Referanser . . . . .	207
Appendiks A – NGFs Statutter . . . . .	215
Appendiks B – Oversikt over NGFs styremedlemmer . . . . .	217
Appendiks C – NGFs medlemmer i 2017 . . . . .	219
Appendiks D – Takk . . . . .	221



# Kapittel 1 — Historisk overblikk: Norsk Geofysisk Forening gjennom 100 år

Av MAGNAR GULLIKSTAD JOHNSEN



Forrige side:  
Medlemmer av Geofysisk Kommissjon med flere skåler for  
NGFs fremtid, Halddeobservatoriet i 1920. Fra venstre:  
Hesselberg, Størmer, Bjerknes, Krogness, Devik,  
Helland-Hansen, Köhler og Sæland. Foto: Alta Museum,  
Rurik Köhlers album.



Figur 1.1: Bilde fra Geilomøtet i 1917. Sittende fra v.: Sandstrøm, Helland-Hansen, V. Bjerknes og Sæland. Stående fra v.: J. Bjerknes, Krogness, Hesselberg, Sverdrup og Devik. Kilde: NGFs 75års jubileumsberetningen «Norsk Geofysisk Forening 1917 – 1991»

Vi prøver her å gi en oversikt over Norsk Geofysisk Forenings opprettelse og historie. For en grundig gjennomgang av foreningens første 75 år henvises til jubileumsskriftet som ble gitt ut i 1992 (Danevig, 1993). Tatt dette arbeidet i betraktning ønsker vi å vektlegge historien de siste 25 til 30 år.

## Begynnelsen

Den 18. til 20. august 1917 møttes en gruppe vitenskapsmenn på Geilo. Målet for møtet var å starte opp en egen forening for geofysikere i Norge, Norsk Geofysisk Forening (NGF). I 2017 feirer vi dermed 100-årsjubileum for foreningen. Geilo-møtet la grunnlaget for opprettelsen, og et arbeidsdokument for foreningens statutter og virksomhet ble nedfelt. På det første årsmøtet holdt i Kristiania (Oslo) i 1918, ble disse vedtatt (Appendiks A). Arbeidsdokumentet legger opp til opprettelsen av 4

## HISTORISK OVERBLIKK

sammenvevde enheter, nemlig (Danevig, 1993);

1. «foreningen Norsk geofysisk forening. Som nye medlemmer kan optas aktivt arbeidende videnskapsmænd på geofysikens område efterat vedkommende ved skriftlig votering blandt foreningens medlemmer har faat mindst to tedjedeler av medlemmeners stemmer»,
2. «Det opprettes en permanent geofysisk kommisjon med faste medlemmer som også forutsettes å være medlemmer av foreningen»
3. «Det søkes opprettet et fond til fremme av geofysisk forskning under navnet «Professor Kr. Birkelands fond for geofysisk forskning». Fondet bør bestyres av den permanente geofysiske kommisjon»,
4. «Man søker opprettet en tidsskriftserie: 'Geofysiske publikasjoner'».

Dokumentet er signert av Vilhelm Friman Koren Bjerknes som også ble foreningens første formann, Olaf Martin Devik, Bjørn Helland-Hansen, Hans Theodor Hesselberg, Ole Andreas Krogness, Harald Ulrik Sverdrup og Sem Sæland, alle ledende og veletablerte kapasiteter innen sine respektive felt i Norge. Carl Størmer og Lars Vegard som også var naturlige deltagere på stiftelsesmøtet på Geilo, lyktes man ikke å få tak i (Devik, 1971). Figur 1.1 viser deltagerne på Geilo, i tillegg til de ovennevnte var Jacob Bjernkes, Vilhelms sønn, og J. W. Sandström, en av Vilhelms tidligere assistenter, til stede. Sandström hadde allerede i 1915 møtt Krogness, Devik og Helland-Hansen i Stockholm for å diskutere arbeidet for geofysiske institutter i Tromsø og Bergen (Danevig, 1993).

Ved årsmøtet i 1918, ble fem ytterlige medlemmer valgt inn; Bernt J. Birkeland, Fridtjof Nansen, Oskar E. Schiøtz, Carl Størmer og Lars Vegard. Vi ser her en gruppe mennesker som dominerte geofysikken i Norge totalt, noe som vil illustreres i denne bokens kapitler, og vi aner et forsøk på konsolidering av makt og bevisstheten rundt hva man kan få til hvis man slår seg sammen og legger tyngde bak en stemme. Det er med en viss ærbødighet at man nå feirer 100-årsjubileum for «deres» forening og den tradisjonen de etablerte.

Hva var så årsaken til at foreningen ble etablert? Som antydnet over, synes behovet for en enhetlig stemme til fremme av norsk geofysikk å være en grunn. Norge hadde lenge hatt geofysikere/vitenskapsfolk som hadde satt sine spor internasjonalt innen

geofysikkens grener, vi kan her nevne bl.a. Christoffer Hansteen, Kristian Birkeland, Henrik Mohn, Roald Amundsen og ikke minst Vilhelm Bjerknes. Norge hadde også gjort seg gjeldende internasjonalt gjennom deltagelse i f.eks. det første polaråret (1882-83) med det Norske Meteorologiske Institutt's polarstasjon i Bossekop (Steen, 1887), men også isolerte, norske, vitenskapelige ekspedisjoner som Vøringen-ekspedisjonen i 1876 (Mohn og Sars, 1880), Birkelands ekspedisjoner mot nord så vel som Egypt og Amundsens Gjøa- og Fram-ekspedisjoner. Det kan sies at disse ekspedisjonene representerer tilfeller av nasjonsbygging i forbindelse med Norges løsrivelse fra Sverige i 1905, men fra slutten av 1800-tallet og utover 1900-tallet ser vi også at den økende industrialiseringen og økonomiske utviklingen i Europa fører til en vekst i den vitenskapelige aktiviteten generelt og ikke minst innen utforskningen av de jordbundne, fysiske prosesser, geofysikken. Det er ikke bare NGF som regner sin begynnelse i denne perioden; Geofysisk Institutt i Bergen ble etablert i 1917, Geofysisk Institutt i Tromsø i 1918 med Vervarslinga for Nord-Norge i 1920, Halde-observatoriet (forøperen til Nordlysobservatoriet i Tromsø) i Alta i 1912, for å nevne noen.

Mye var på gang i denne perioden, den kan med rette omtales som «Norsk geofysikkens vår». Olaf Deviks (1971) beskrivelse av denne tiden viser på en utmerket måte hvor hardt det ble jobbet for geofysikkens fremme. Likevel er det tenkelig at første verdenskrig (1914–1918) kastet skygger og bremsset utviklingen i fagene. Norge var riktignok nøytral, men den vitenskapelige kontakten internasjonalt ble nok kraftig hemmet både på grunn av innskrenkede reisemuligheter og postgang, men også at utenlandske kollegaer ble omdisponert eller selv-mobilisert til vitenskapelig og annen innsats i konflikten (se f.eks. Schwartz, 2014). Det er nærliggende å tro at NGFs etablering var en konsekvens av et behov for mer vitenskapelig samkvem innad i Norge som alternativ til internasjonal kontakt. Samtidig ser vi at etableringen av geofysiske foreninger og sammenslutninger lå i tiden, både American Geophysical Union (AGU) og International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) ble for eksempel etablert i 1919. Et annet eksempel på å bøte på den vitenskapelige isolasjon første verdenskrig skapte, finner vi ved det skandinaviske geofysikermøtet i Gøteborg 28. - 31. august 1918. Under følger et sitat fra en rapport fra dette møtet publisert i *Naturen* (Nr. 10 1918):

*«I april dette aar utsendte endel fremstående videnskapsmænd i Gøteborg en opfordring til skandinaviske geofysikere om at delta i et geofysi-*

## HISTORISK OVERBLIKK

*kermøte i Gøteborg i dagene 28<sup>de</sup>–31<sup>te</sup> august iaar. Oppfordringen blev fulgt av de aller fleste arbeidende geofysikere i Danmark, Norge og Sverige, og de siste dager av august møttes i Gøteborg omtrent 60 dansker, svensker og nordmand til foredrag og diskussion.*

*Geofysikermøtet i Gøteborg var det første i sit slag her i Norden. Ogsaa det fremkom som et utslag av trangen til delvis at bryte den isolation, hvori storkrigen har bragt de skandinaviske riker. Man mente gjennom en utveksling av erfaringer, tanker og ideer at virke befrugtende og fremmende paa veksten av de geofysiske foretagender som har en sund grobund i Skandinavien, samtidig som man ogsaa haapet at faa mere enhet over en række undersøkelser, som hittil er blit utført mer eller mindre isolert i hvert enkelt av rikerne. De haap man satte til møtet blev i rik mon indfriet. Hver enkelt deltager fik saa meget av verdi, samtidig som alle indsaa, hvilken stor fordel det har at faa sine og andres undersøkelser mot en videre horisont, og man enedes derfor om snart igjen at møtes til diskussion og samarbeide.»*

NGFs første regulære møte fant sted i Kristiania bare noen dager etter geofysikermøtet i Gøteborg. Det var nok med sterk inspirasjon og pågangsmot de norske geofysikerne møttes for å formelt stifte NGF!

## Historien i korte trekk (1917 – 1992)

### Den geofysiske kommisjon og Professor Kr. Birkelands fond for geofysisk forskning

Kristian Birkeland hvis virksomhet regnes som starten på den moderne nordlysforskningen i Norge, gikk bort i juni 1917, bare 50 år gammel. Tre av grunnleggerne på Geilo, Devik, Krogness og Sæland, hadde jobbet tett med Birkeland. Han hadde også engasjert seg sterkt i arbeidet med opprettelsen av permanente observasjoner av nordlys, geomagnetisme og meteorologi ved Haldde-observatoriet som kom i gang i 1912. Det er nærliggende å tro at man med hans brå bortgang, har ønsket å udødliggjøre ham gjennom et eget fond. Olaf Devik skriver i sin bok (Devik, 1971) om hvordan Birkelands laboratorium ble satt i stand og demonstrasjoner av hans eksperimenter med katodestråler i magnetfelter (Terella) ble vist i 23 dager til stor oppmerksomhet



Figur 1.2: Gruppebilde av Geofysisk Kommissjon med flere, Haldeobservatoriet i 1920. Sittende fra v.: Størmer, Sæland og Bjerknes. Stående fra v.: Devik, Hesselberg, Werenskiold, Krogness, Helland-Hansen og Köhler. Foto: Alta Museum, Rurik Köhlers album

i media og blant publikum: «De som møtte til demonstrasjonene, kunne så senere få besøk av et par representanter for innsamlingskomiteen.» Den første ut var Joh. Ludw. Mowinckel som ga et generøst bidrag på kr. 50 000 kr. Norsk Hydro som Birkeland selv hadde startet sammen med Sam Eyde, fulgte opp med kr. 100.000. Fondet kom til slutt opp i mot kr. 300.000, omregnet til 2015 verdi er dette i overkant av 5,4 millioner norske kroner, en ikke ubetydelig startkapital for et fond for geofysisk forskning. Fondet har gjennom mer eller mindre faste overføringer, vært en viktig kilde til finansiering av NGFs aktiviteter gjennom de hundre år foreningen har eksistert. Fondet ble etter hvert innlemmet i det såkalte Nansenfondet som inkluderer en rekke lignende fond og forvaltes av Det Norske Videnskaps-Akademi. Til bl.a. å forvalte Professor Kristian Birkelands fond for geofysisk forskning ble det etablert

## HISTORISK OVERBLIKK

en geofysisk kommisjon, denne skulle bestå av lederne for det Norske Meteorologiske Institutt, Geofysisk Institutt i Tromsø og Geofysisk Institutt i Bergen som faste medlemmer og to valgte medlemmer oppnevnt av NGF (Figur 1.2). Kommisjonens sammensetning skulle til en hver tid inneha representanter for meteorologi, hydrografi, jordmagnetisme og kosmisk fysikk. Kommisjonens oppgaver skulle være etter vedtak på NGFs første regulære årsmøte i 1918:

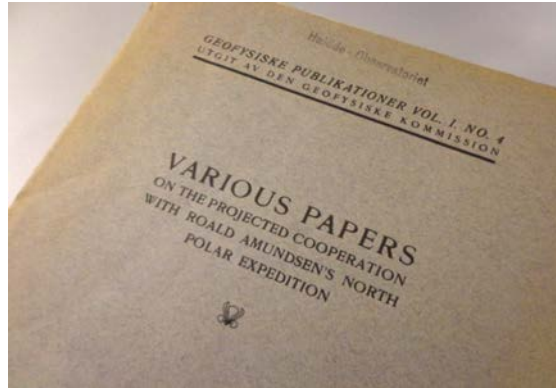
- *Drøfte administrative forføininger for medlemsinstituttene*
- *Utgi Geofysiske Publikasjoner*
- *Avgi innstilling om anvendelse av disponible renter av Professor Kristian Birkelands fond for geofysisk forskning.*
- *Behandle andre saker som av det offentlige måtte bli forelagt kommisjonen.*

Som paragraf 3 i reglementet for kommisjonen ble det besluttet at Kirke- og Undervisningsdepartementet skulle godkjenne det hele. Samme departement skulle videre kunne utføre endringer av reglementet basert på  $\frac{4}{5}$  flertall blant kommisjonen eller  $\frac{2}{3}$  flertall blant NGFs medlemmer. Reglementet ble noe modernisert mhp. medlems sammensetning i 1947. Dette kom svært forsinket, men skyldtes Geofysisk Institutt i Tromsøs innlemmelse i Meteorologisk Institutt (1928) og etableringen av Norsk Institutt for Kosmisk Fysikk (1930).

Kommisjonen hadde normalt flere møter gjennom året og formidlet sin virksomhet på årsmøtet til NGF. En betydelig del av arbeidet gikk til behandling av søknader om støtte fra fondet samt virke som rådgivende instans ovenfor staten innen geofysiske spørsmål. Betydelige bidrag ble gitt til bl.a. NGFs virksomhet, men også de lokale geofysiske foreningene i Oslo og Bergen. Med sin offentlige status, virket kommisjonen som bindeleddet mellom NGF og Kirke- og Undervisningsdepartementet. Kommisjonen hadde også redaksjonelt ansvar for Geofysiske publikasjoner. En grundig behandling av kommisjonens rolle og betydning innen norsk geofysikk de siste hundre år ligger utenfor ambisjonsnivået her, men det kan synes som at den har vært betydelig. Det ville vært på sin plass med en grundig, historisk analyse av dette utført av en kvalifisert historiker.



Figur 1.3: En geofysisk publikasjon om Roald Amundsens Maud-ekspedisjon. Bidragsytere er Den geofysiske Kommissjon, Størmer, Hesselberg og Krogness. Dette eksemplaret har tilhørt Haldde-observatoriet.



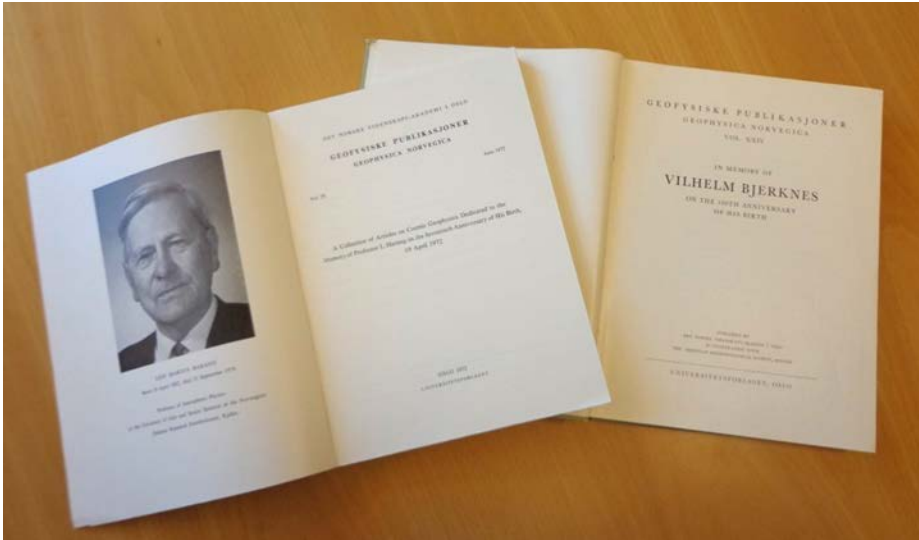
## Geofysiske publikasjoner

Kanskje den i ettertiden mest synlige delen av NGFs utadrettede aktivitet, er Geofysiske Publikasjoner. Gjennom «våren» for norsk geofysikk og den sterkt økende aktiviteten man så, meldte behovet for en egen, dedikert vitenskapelig journal seg, Olaf Devik (1971) skriver: «Det hadde vist seg å være et stigende behov for å få trykt spesialavhandlinger om geofysikk, og med de store oppgaver som norsk geofysikk måtte ta opp, ville det trenge en egen serie som tok sikte på internasjonal spredning. Navnet ble «Geofysiske Publikasjoner», og til dette regnet man med å få statsbevilgning» (Figur 1.3).

Den første utgivelsen av Geofysike Publikasjoner kom i 1921 og er en avhandling om arbeidene med nordlys utført ved Haldde-observatoriet i perioden 1913–14. Den er forfattet av Lars Vegard og Ole Andreas Krogness med dedikasjonen «In memory of our teacher Kr. Birkeland». Det er siden publisert en betydelig mengde artikler i Geofysiske Publikasjoner som belyser arbeidet til norske geofysikere innen alle NGFs fagretninger. Journalen har også blitt brukt for å hedre enkeltpersoner innen norsk geofysisk forskning med egne «spesialnumre», Figur 1.4 viser spesialnummerne for Vilhelm Bjerknæs' 100 årsdag (1962) og Leiv Harangs 70 årsdag (1972).

I dag er Geofysiske Publikasjoner en viktig samling utgivelser som både står seg som faglig, vitenskapelig referanseverk, men også som gir et uvurderlig kildemateriale for alle som søker en historisk forståelse av norske geofysiske aktiviteter, personnettverk, vitenskapelig instrumentering og observatorievirksomhet.

## HISTORISK OVERBLIKK



Figur 1.4: Spesialnummere av Geofysiske Publikasjoner

### Foreningen

NGF var fra starten en eksklusiv forening hvor medlemmene hadde full kontroll over hvem som ble innvalgt. I begynnelsen var det til dels nasjonalt berømte og «mektige» ledere innen norsk geofysikk som var medlemmer, men fra 60-tallet ser man en økning i antallet medlemmer. Det er naturlig at foreningen hadde stor definisjonsmakt innen hva som foregikk innen norsk geofysikk både gjennom sin innflytelse over Geofysisk kommisjon og medlemmenes stilling.

Viktige hendelser, anekdoter og foreningens utvikling gjennom de første 75 år er behandlet i jubileumsskriftet forfattet av Petter Dannevig (Dannevig, 1993).

Etter hvert som samfunnet har endret seg og geofysikken har vokst og nye faglige grener har kommet til, har også foreningen endret karakter fra å være en betydningsfull og innflytelsesrik «eliteforening» til en mer intern møteplass for ulike fagretninger innen geofysikken.

## NGF frem til i dag – de siste 30 år

Foreningens aktivitet har vært rimelig stabil de siste 30 år, medlemsantallet har forholdt seg stabilt og det samme har deltagelsen på årsmøtene. Likevel er det i denne perioden skjedd store endringer.

Meteorologisk Institutt som i mange år hadde finansiert trykkeriutgiftene ved Geofysiske Publikasjoner signaliserte i 1987 at de ikke ønsket å fortsette med dette. Årsmøtet synes å ha vært av den oppfatning at denne typen tidsskrifter hadde utspilt sin rolle, men ønsket likevel å undersøke muligheten for andre utgivelses- og trykkingsmåter. Året etter sa Universitetsforlaget opp avtalen om trykking og dermed markerer dette året også nedleggelsen av tidsskriftet. Den siste utgivelsen av Geofysiske publikasjoner, nr. 33, kom i 1985 og inneholder to artikler om henholdsvis «Major Stationary Ridges» i atmosfæren og elektrontransport mellom jordens to halvkuler via det nære verdensrom.

1988 nevnes her siden dette året var det første året da ingen på årsmøtet kunne gi rapport fra Geofysisk Kommissjon, vi aner at kommisjonen er i ferd med å miste sin betydning.

En gjenganger blant sakene på foreningens årsmøter er hvorvidt foreningen skulle gjøres mer åpen. Som det nevnes på årsmøtet i 1988 kunne dette være nødvendig for å utbedre en del svakheter i NGFs arbeid, bl.a. «svak møteoppslutning, liten grad av styring med utvikling, for få unge geofysikere med og for liten kontakt til andre, ikke-geofysiske, fagmiljøer.» Dette ble videre fulgt opp av styret som foreslo statuttendringer som ble vedtatt med 123 mot 3 stemmer i 1989. Statuttendringene gjorde foreningen langt mer åpen i forhold til før, men medlemskap forutsatte fremdeles innvalg ved at nye medlemmer ble foreslått for styret som videre gjorde vedtak og orienterte årsmøtet. Tidligere hadde man krevd skriftlig votering og to tredjedels flertall for innvalg. Nye statuttendringer ble også gjort i 2005 hvor foreningen ble fullt åpnet for alle som ønsker medlemskap og som jobber innenfor geofysikk i Norge. Det er disse statuttene som i dag gjelder, se Appendix A.

I 1992 feiret NGF sitt 75-års jubileum. Som ledd i planleggingen hadde man i 1990 rekruttert Petter Danevig til å skrive et jubileumsskrift. Dette gir en god bakgrunn og innføring i foreningens første 75 år og kan lastes ned fra NGFs nettsider ([ngfweb.no](http://ngfweb.no)). I jubileumsåret ble det holdt jubileumssymposium i Universitetet i Oslos aula hvor videregående skoler fra Oslo og Akershus var inviterte. Det ble gitt 8 inviterte foredrag

## HISTORISK OVERBLIKK

innen NGFs arbeidsfelt og det kunne registreres 250 deltagere. Det var naturlig å holde årsmøte på Geilo dette året, her ble det holdt festmiddag og jubileumsskriftet ble delt ut. Selve årsmøtet foregikk i tradisjonelle former.

Faglige tema på årsmøtene gjennom de siste 30 årene viser at foreningens virkeområder er like dagsaktuelle i dag som for 100 år siden. Som eksempel kan årsmøtet i 1991 nevnes, her var temaet «klima og energi». I dag snakkes og skrives det mye om klimaet og klimaendringene, og man har nådd langt i bevisstgjøringen rundt menneskelig aktivitetens påvirkning på det. Allerede for minst 25 år siden satt en gruppe geofysikere på Geilo og følte dette som dagsaktuelle og relevante tema. Medlemmer fra NGF har også vært synelige i samfunnsdebatten rundt klimaet, og har helt klart bidratt til den samfunnsmessige bevisstgjøringen rundt klimaendringene. Temaet har vært oppe i ulike former på årsmøtene mange ganger siden. Det er et tankekors hvordan norsk klimapolitikk ville vært i dag dersom NGFs innflytelse overfor myndighetene på 90-tallet hadde vært den samme som tidlig i foreningens historie.

En milepæl i foreningens arbeid de siste 30 år kom i 1996, som markerer starten på foreningens eksistens på Internett. Dette er relativt tidlig, man regner med at på dette tidspunktet var ca. 10 % av Norges befolkning på nett ukentlig (kilde: Wikipedia). Internett hadde riktignok vært kjent for folk i universitets- og instiuttmiljøet siden 1980-tallet, men nå var det tilgjengelig for «alle» og NGF var en del av innholdet. Man startet også i det små å kommunisere med foreningens medlemmer per e-post dette året.

Som nevnt over kan det synes at utover 1980-tallet var Geofysisk Kommissjon i ferd med å miste sin betydning. Den eksisterte fremdeles i 1996, men det rådet åpenbart uro i forhold til dens fremtid. Årsmøtet diskuterte hvordan man kunne blåse nytt liv i kommisjonen og direktøren for det Norske Meteorologiske Institutt og styrer for Geofysisk Institutt ved UiB som begge var faste medlemmer, ble oppfordret til å undersøke saken. Saken var også oppe på årsmøtet i 1997, der kom det fram at kommisjonen ikke hadde vært i stand til å samle medlemmene til møter. Det ble opprettet en komité for å vurdere NGFs generelle aktivitet og spesielt bl.a. foreningens relasjon til Geofysisk Kommissjon. På årsmøtet i 1998 ble et brev fra Direktør Arne Gammeltvedt ved Meteorologisk Instiutt med forespørsel om oppløsning av komiteen lest opp. Årsmøtet ba styret ta saken opp med til Kirke og Undervisningsdepartementet, vi siterer fra årsberetningen for 1998:

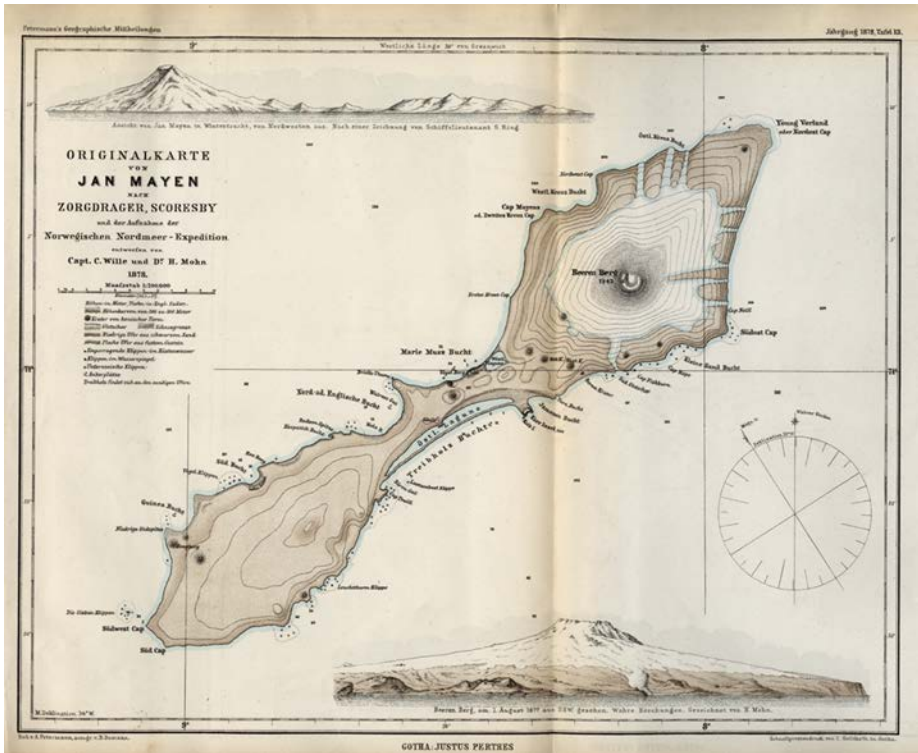
*«Styret har vært i kontakt med KUF angående Den Geofysiske Kommissjon. Vi ble derfra henvist til Det Nasjonale Fakultetsmøtet for Realfag som var iferd med å gjenopprette Nasjonalt Fagråd for Geofysikk. Vi bad spesielt om å få ett eller flere medlemmer fra NGF i de nasjonale fagråder slik Norsk Fysisk selskap har i det Nasjonale Fagrådet for Fysikk. Dette har vi ikke lyktes med, men fagrådet er nå oppnevnt og både leder og minst to medlemmer i rådet er medlemmer i NGF. I og med opprettelsen av dette fagrådet er det rimelig å anta at Den Geofysiske Kommissjon har mistet sin betydning».*

I 1999 ble det fastslått at Geofysisk Kommissjon definitivt var nedlagt. Nedleggelsen av kommissjonen samt at støtten fra Nansenfondet opphørte, fikk konsekvenser for foreningens inntekter og man tok i 2000 grep for å redusere utgiftene ved bl.a. å redusere den økonomiske støtten til de lokale geofysiske foreningene i Oslo og Bergen.

Nedleggelsen av geofysisk kommissjon og ønsket om rekruttering av unge forskere til foreningen gjorde at man i 1999 satte igang arbeidet med et eget fond til utdeling av stipend til unge forskere. Det har ikke lyktes undertegnede å finne ut hva som skjedde med dette initiativet.

Et annet viktig tema som ble diskutert ved årsmøtet i 1999 var viktigheten av opprettholdelsen av de lange måleprogrammene for geofysiske parametere. En bekymring rådet om at det eksisterer en manglende forståelse for lange tidsserier hos myndigheter, media og opinionen. Dette er et aktuelt tema i dag så vel som i 1999, man kan ikke understreke nok hvor viktig lange tidsserier er i geofysikken, nettopp for å fange opp og forstå både korte og langsomme endringer i alt fra jordens magnetfelt til klimaet. Å holde i gang de langsiktige målingene må ses i kontekst av hva som gjøres i andre land; målinger på Norsk territorium er et ansvar som tilhører nasjonen, og man har en internasjonal forpliktelse til å bidra inn i en global kontekst for å sikre overvåkingen av jorden som helhet. I dag er det ikke lett å finne finansiering av observatorievirksomhet som sikrer slike langsiktige tidsserier, og staten viser i liten grad interesse for det. I stedet legges det opp til relativt korte forskningsprosjekter som kun låser pengebruken over begrensede perioder. De institusjoner som lykkes å holde i live sine lange tidsserier, klarer dette i stor grad på tross av den manglende offentlige finansieringen gjennom kontakt med kommersielle aktører, eller ved ope-

## HISTORISK OVERBLIKK



Figur 1.5: Kart over Jan Mayen etter den Norske Nordhavsekspedisjonen. Kilde: Norsk Polar-institutt

rativ virksomhet hvor de kortsiktige observasjonene har rask nytteverdi og de lange tidsseriene kun blir en bieffekt.

Øya Jan Mayen (figur 1.5) har en historie som er nært knyttet til geofysikkens disipliner. Slik har det vært siden den norske Nordhavsekspedisjonen med Vøringen gjested øya i perioden 1876–1878 (Mohn og Sars, 1880), og den østerrikske overvintringen der under det første internasjonale polaråret i 1882–83 (Wohlgemuth, 1886). Øya ble i 1922 og 1926 annektert på vegne av det Meteorologiske Institutt og etter hvert innlemmet i Kongeriket Norge. En av stifterne av NGF, Ole Andreas Krogness, var på denne tiden leder for Geofysisk Institutt i Tromsø og engasjert i denne prosessen. Siden den gang, med unntak av under 2. verdenskrig, har kontinuerlige meteorolo-

giske observasjoner på Jan Mayen spilt en viktig rolle for den norske værvarslinga. I etterkrigstida ble LORAN-anlegget etablert som senere har gjort forsvaret til den største aktøren på øya. Kontinuerlige geofysiske observasjoner har også pågått lenge, i dag foregår en vidstrakt aktivitet med blant annet geomagnetiske målinger i regi av Tromsø Geofysiske Observatorium, seismografiske målinger med Universitetet i Bergen og GNSS-målinger ved Kartverket. I forbindelse med planer om å legge ned Loran C, ble det fra NGFs side i 2004 satt på dagsorden «Jan Mayen som geofysisk forskningsplattform». Den bakenforliggende tanken ble godt oppsummert av Harsson (2005):

*«Norges suverenitet over Jan Mayen gir Norge rettigheter, men innebærer også forpliktelser og forventninger om at Norge utforsker, kartlegger og overvåker øya og omkringliggende havområder. Blant de internasjonale forventningene ligger et ønske om at Norge bidrar med geofysisk informasjon fra øya med havområder, for å gjøre det globale bildet mest mulig fullstendig til enhver tid. Beliggende i Arktis og omgitt av store havstrekninger i alle retninger, med ca. 500 km til nærmeste landområder, utgjør øya Jan Mayen et enestående utgangspunkt for forskningsoppgaver innen geofysikk. En skriftlig forespørsel i 2004 til norske institusjoner som arbeider med geofysikk-relaterte oppgaver, viste at det er stor interesse for å utnytte infrastrukturen på Jan Mayen til en geofysisk plattform for datafangst, mens infrastrukturen fortsatt er intakt. ...*

*Oppgavene det dreier seg om er innen seismikk, platetektonikk, kontinentaldrift, geodesi, tyngdefeltet, havstrømmer, oseanografi og tsunami, glasiologi, geomagnetisme, operativ værvarsling og klimastudier for overvåking av klimaendringer, sammenhengen mellom havets vannstand og jordens klima, ionosfære- og atmosfærefysikk, samt overvåking av prøvestansavtalen for atombombesprengninger. Dette er emner som hver for seg vil utgjøre fragmenter i vurderingen av klimaendringer... »*

Brev ble sendt til statsministerens kontor og kronikk publisert i Aftenposten hvor NGFs leder (Bjørn Geirr Harsson) tok til ordet for dette. Videre ble også saken diskutert i Dagsnytt 18. Dette er sannsynligvis det tilfellet hvor NGF har engasjert seg mest og vært mest aktiv for å løfte saker opp mot myndighetene de siste 30 år.

## HISTORISK OVERBLIKK



Figur 1.6: Deltagerne på NGFs årsmøte i 2016. Bildet er tatt foran Tallhall, Meteorologisk Institutt, Oslo. Foto: NGF

I disse tider kan Jan Mayen på nytt være aktuell for større oppmerksomhet som forskningsplattform i og med at Loran-C-stasjonen nå er nedlagt.

I 2006 ble nye nettsider lansert i den form vi kjenner dem i dag. NGF ble registrert i Brønnøysundregistrene og Internett-domenenavnet [ngfweb.no](http://ngfweb.no) reservert til nettsidene. På nettsidene finnes styrets årsberetninger og referater fra foreningens årsmøter helt tilbake til 80-tallet. I tillegg, med sterk økonomisk støtte fra Meteorologisk Institutt og Geofysisk Institutt ved Universitetet i Bergen, ble i 2007–2009 Geofysiske Publikasjoner i sin helhet digitalisert og lagt ut på nettsidene. På den måten er nå disse tilgjengelig for allmennheten og markerer den betydelige innsats norske geofysikere har utført de siste 100 år.

NGFs 90-års jubileum ble i 2007 markert i fellesskap med Geofysisk Institutt i Bergen. NGF var representert ved en internasjonal konferanse i Bergen; «Polar Dynamics: Monitoring, Understanding and Prediction». Det ble utarbeidet egen brosjyre og poster for anledningen.



## **Den Internasjonale Union for Geodesi og Geofysikk (IUGG)**

Geofysikk deles som regel inn i de disipliner som er definert gjennom faggruppene til den Internasjonale Union for Geodesi og Geofysikk (IUGG):

- Kryosfære, International Association of Cryospheric Sciences (IACS)
- Geodesi, International Association of Geodesy (IAG)
- Geomagnetisme og aeronomi, International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)
- Hydrologi, International Association of Hydrological Sciences (IAHS)
- Meteorologi og Atmosfærens fysikk, International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS)
- Oseanografi, International Association for the Physical Sciences of the Oceans (IAPSO)
- Seismologi og fysiske aspekter ved jordens indre, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI)
- Vulkanologi og kjemiske aspekter ved jordens indre, International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI)

IUGGs formål er å stimulere til vitenskapelige studier knyttet til jorden, og å sørge for at slike studier kommer menneskeheten til gode. Norge har vært medlem av IUGG siden 1923. Statuttene for den nasjonale komiteen for IUGG fastsetter at komitémedlemmene velges av de respektive faggruppene i NGF. Dette har stort sett blitt gjennomført og orientering om tingenes tilstand i de ulike faggruppene har blitt gitt ved foreningens årsmøter. På grunn av manglende budsjett/inntekter har det vært vanskelig å få en spesielt stor aktivitet i den nasjonale komiteen og IUGG-relatert arbeid har variert stort både på overordnet plan og blant faggruppene. Meteorologisk Institutt har gjennom mange år stått for betalingen av kontingenten til IUGG. Etter 2009 har Det Norske Vitenskapsakademi betalt kontingenten, men det er uklart og råder forvirring hvor det formelle ansvaret for Norsk medlemskap i IUGG ligger.

## HISTORISK OVERBLIKK

Siden år 2000 har det vært noe fokus på å skape en tettere kontakt mellom NGF og IUGG-arbeid, dette synes å ha vært en slags konsekvens av nedleggelsen av Geofysisk Kommissjon, og for å opprettholde NGFs relevans utover rollen som et internt samlingspunkt for foreningens medlemmer.

### **European Geosciences Union og American Geophysical Union**

I 1995 tegnet NGF kollektivt medlemskap i EGS, senere EGU, det betød at medlemskap i NGF automatisk ga medlemskap i EGU. Man gjorde senere en endring slik at medlemmene kunne velge mellom medlemskap i enten EGU eller AGU. Dette har betydd en større utgift for foreningen, og man har oppmuntret medlemmene til å skaffe medlemskapet gjennom arbeidsgiver i stedet, ved å la dem kunne velge å ikke tegne medlemskap gjennom årskontingenten. Naturlig nok er ikke dette mulig for pensjonister og valgmuligheten har fått fortsette.

### **Kvinneandel i foreningen**

Første kvinnelige medlem, Guro Gjellestad (figure 1.7a), kom inn i NGF i 1958 (Storetvedt, 2008). Hun avla matematisk-naturvitenskapelig embedseksamen i 1950 og jobbet i årene 1951–54 som Fullbrightstipendiat ved flere astronomiske observatorier i USA. Hun ble amanuensis ved Magnetisk Byrå i Bergen i 1955 og i 1959 dosent i jordmagnetisme og kosmisk fysikk ved Geofysisk Institutt i Bergen. Guro Gjellestad var også den første kvinnelige, vitenskapelige aktøren innen Kosmisk Geofysikk i Norge, og hun er i dag best husket for innsatsen for og arbeidet med Dombås magnetiske observatorium.

Det andre kvinnelige medlemmet av NGF, Inger Bruun, kom inn i foreningen i 1959 (Meteorologisk Institutt, 2011). Hun ble Norges første kvinnelige statsmeteorolog i 1942 og Meteorologisk Institutts første kvinnelige fagsjef i 1980. Hun er husket for TV-opptredener på 60-tallet med programmet «været i måneden som gikk» hvor siste måneds vær rundt om i landet ble oppsummert og sammenlignet med normalen.

De neste kvinnelige medlemmene av NGF kom på 70- og 80-tallet. Ved jubileet i 1991 var det 10 kvinner i foreningen, dvs. beskjedene ca. 5 %. I skrivende stund er antallet kommet opp i 16 av 121 medlemmer (13%). NGFs første kvinnelige leder virket i perioden 2010–2011, Inger Hanssen Bauer (figure 1.7b).



(a)



(b)

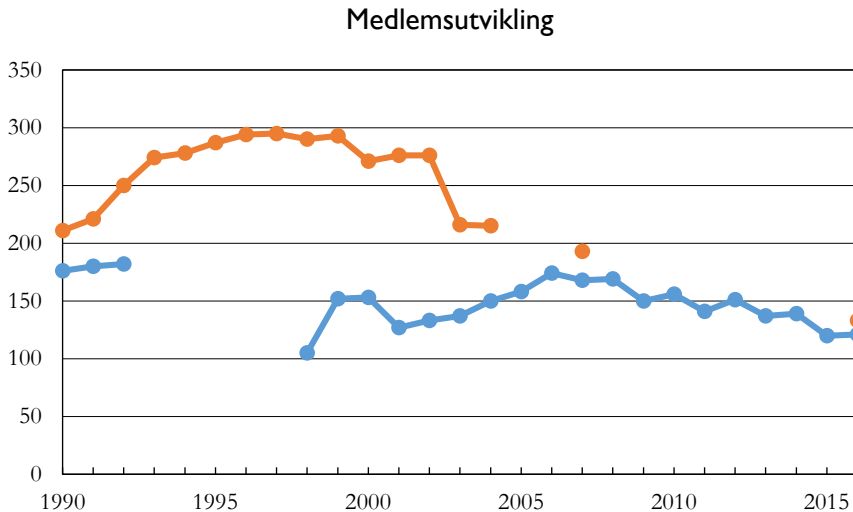
Figur 1.7: NGFs første kvinnelige medlem, Guro Gjellestad (a) og første kvinnelige styreleder, Inger Hanssen-Bauer (b): Foto: Universitet i Bergen (a) og Bård Gudim/Meteorologisk Institutt (b)

## Medlemsutvikling

Figur 1.8 viser medlemsutviklingen til NGF de siste 30 årene. Tallene er hentet fra årsmøteprotokollene og årsberetningene som er tilgjengelige gjennom foreningens nettsider ([www.ngfweb.no](http://www.ngfweb.no)). Den oransje kurven viser foreningens registrerte medlemmer og den blå foreningens betalende medlemmer. Som man kan se, det har hele tiden vært en utfordring å få samsvar mellom de to kurvene, og det varierer også hvilket tall som har blitt rapportert. Styret har fra slutten av 90-tallet hatt fokus på å stryke ikke-betalende medlemmer fra listene når betalinger har latt vente på seg flere år på rad. Bedre orden oppnådde man også da foreningen ble åpnet for innmelding uten valg i 2005.

Man ser videre at antallet betalende medlemmer har ligget i området 100 til 200 gjennom hele perioden. Frem imot 2007 ser man en økning fra år til år. Dette skyldes nok at man begynte å invitere unge forskere innen geofysikk (hovedsakelig dr.gradsstudenter fra alle universitetene og Universitetssenteret på Svalbard) til årsmøtene som et rekrutteringstiltak. Foreningen betalte da reise og opphold. Mange av disse unge geofysikerne har siden meldt seg inn og blitt aktive medlemmer i foreningen,

## HISTORISK OVERBLIKK



Figur 1.8: Medlemsutvikling i NGF fra 1990 til 2016, blå kurve viser betalende medlemmer, oransje kurve registrerte medlemmer.

undertegnede er selv en av dem. Dette tiltaket har også bidratt til en senkning av gjennomsnittsalderen i foreningen. Man har deretter hatt en jevn nedgang i medlemstallet, noe som tyder på at åpningen for egen innmelding ikke på lengre sikt har bidratt nevneverdig som rekrutteringstiltak.

Det kan kanskje synes vanskelig for en ærverdig forening som NGF å fremstå som relevant i en moderne forskningsverden hvor tiden ikke strekker til og mengden spesialiserte møter innen geofysikk er stort. Hvordan rekrutteringen til foreningen kan økes, er et gjennomgangstema på årsmøtene og vil nok være det i mange år fremover. Man kan håpe at man i jubileumsåret kan bevise at NGF fremdeles har en plass som møtepunkt for de ulike geofysiske grenene, f.eks. gjennom dette bokverket. Videre er det opp til medlemmene selv, og kanskje helst de som aktivt forsker i feltet, å jobbe for å øke foreningens relevans og gjenvinne noe av den betydningen foreningen har hatt for faget tidligere. IUGG kan være et godt utgangspunkt for slikt arbeid, med mer aktiv synliggjøring mot myndighetene. Vi trenger også å nå ut mot samfunnet og spesielt unge mennesker, noe som kanskje kan oppnås gjennom sosiale medier.

Man må selvsagt også opprettholde de tradisjonelle og ikke minst svært hyggelige årsmøtene hvor horisonter utvides og svært verdifull tverrfaglig lærdom og innsikt hentes.

## Referanser

Hovedkilden til den historiske beskrivelsen av NGFs siste 30 år er foreningens årsberetninger og møtoreferater tilgjengelige på nettsiden: [www.ngfweb.no](http://www.ngfweb.no)

Dannevig, Petter (1993). *Norsk Geofysisk Forening 1917 – 1991*, NGF

Devik, Olaf, 1971, *Blant fiskere, forskere og andre folk*, H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard)

Harsson, Bjørn Geirr (2005). *Jan Mayen som geofysisk forskningsplattform*, (Kronikk i Aftenposten 2005-05-31)

Meteorologisk Institutt (2011). *The first lady*, Meteorologisk Institutt nett-artikkel

Mohn, Henrik og Sars, G. O. (red) (1880). *Den Norske Nordhavs-Expedition 1876–1878*, 29 hf. (7 bd.), 1880–1901

Schwarz, Angela (2014). *Science and Technology (Germany)*, in: 1914–1918-online. International Encyclopedia of the First World War, ed. by Ute Daniel, Peter Gatrell, Oliver Janz, Heather Jones, Jennifer Keene, Alan Kramer, and Bill Nasson, issued by Freie Universität Berlin, Berlin 2014-10-08. doi: 10.15463/1e1418.10413.

Steen, Axel (1887). *Beobachtungs-Ergebnisse der norwegischen Polarstation Bossekop in Alten*. Im Auftrage des Königl. Norwegischen Cultus-Ministeriums

Storetvedth, Kasten (2008). *Guro Gjellestad: «Det Skal Ikke Stå På Meg» Glimt fra dosent Guro Gjellestads virke ved Geofysisk institutt*, UiB nettartikkel <http://www.uib.no/gfi/55528/guro-gjellestad>

T.G., 1918, *Det Skandinaviske Geofysikermøte i Gøteborg 28<sup>de</sup> – 31<sup>te</sup> august 1918*, Naturen Nr. 10, 1918

Wohlgemuth, E. E. von (1886). *Die internationale Polarforschung 1882–1883: Die österreichische Polarstation Jan Mayen ausgerüstet durch seine Excellenz Graf Hanns Wilczek geleitet vom K. K. Corvetten-Capitän Emil Edlen von Wohlgemuth*. Beobachtungs-Ergebnisse herausgegeben von der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Karl Gerold's Sohn, Wien 1886



# Kapittel 2 — Geodesi

AV BJØRN GEIRR HARSSON



Forrige side:

Meridianstøtten i Hammerfest. Den markerer det nordligste punktet på Den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken fra 1816 til 1855. I 2005 kom gradmålingsrekken inn på UNESCOs Verdensarvliste under navnet Struves meridianbue. Foto: Bjørn Geirr Harsson



## Hva er geodesi?

I den klassiske definisjonen er geodesi vitenskapen om bestemmelsen av jordens form og størrelse og dens ytre tyngdefelt. Da Isaac Newton omkring 1700 hadde konstatert at jorden var noe flatklemt ved polene, ble det en viktig oppgave for vitenskapen å finne ut hvor mye den var flatklemt. For å løse oppgaven ble det målt lengden av en buegrad langs meridianen ved ulike geografiske bredder. Man fant også den matematiske sammenhengen mellom jordens form og endringen av tyngdens akselerasjon fra ekvator mot polene.

I kjølvannet av gradmålingene kom vitenskapsmenn fra en del europeiske stater sammen i 1862 og dannet organisasjonen «*Mitteleuropäische Gradmessung*». Dette ble forløperen til International «*Association of Geodesy (IAG)*» som ble etablert i 1886 og var dermed den første av assosiasjonene som senere utgjorde «*International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)*», en vitenskapelig organisasjon etablert i 1919.

Først og fremst gjennom satellitt-teknologien de siste 30 år, har geodesien oppnådd en nøyaktighet som gjør det mulig å beregne kontinentaldrift, landhevning og endringer i havets nivå på millimeternivå. Fra å være en viktig leverandør av grunnlag for kartprodusenter har geodesi blitt en premissleverandør for geofysikken.

I den mer dagligdagse oppfatning av geodesi dekkes alt som er fundamentalt for et landsomfattende horisontalt og vertikalt koordinatsystem, det vil si selve grunnlaget for navigasjon og alle typer nasjonale kart- og oppmålingsoppgaver.

## Forhistorie

En statlig institusjon med ansvar for oppmåling og kartlegging av landet vårt fikk vi med etableringen av Norges Grændsers Opmaaling i 1773. Senere navn på institusjonen har vært Norges geografiske oppmåling og fra 1986: Statens kartverk.

De første årene hadde landmålerne i oppgave å kartlegge områdene mellom Glomma og svenskegrensen uten bruk av koordinater, og det måtte jo gå galt. De fikk store problemer med å få kartinnholdet på et kart til å stemme med innholdet på nabo-kartbladet.

Først i 1779 startet de egentlig med geodesi i Norge. Da hadde to norske løytnanter fått opplæring hos professor Thomas Bugge i København og de etablerte et



Figur 2.1: Flaggstangen på Kongsvinger festning. Foto: Bjørn Geirr Harsson

geodetisk nett med utgangspunkt i flaggstangen på Kongsvinger festning. Nordaksen fulgte meridianen gjennom flaggstangen og østaksen fulgte perpendikulæren til meridianen gjennom samme flaggstang. Grunnen til at utgangspunktet ble plassert i Kongsvinger, var at svenskekongen Gustav 3. hadde vist interesse for ekspansjon vestover. Dermed sendte den dansk/norske kongen, Christian 7., sin general Wilhelm von Huth til Norge for å finne ut hvordan Danmark/Norge best kunne demme opp mot den svenske trusselen. Huths svar var å kartlegge området mellom Glomma og svenskegrensen. Han mente at et godt kartgrunnlag ville være nødvendig basis for den militære strategi.

Da de to løytnantene startet sin oppmåling, var de utstyrt med nyanskaffede geografiske sirkler, stjernekkikkerter og pendelur. Førstnevnte ble benyttet til å måle vinkler i sikteplanet mellom trigonometriske punkter. Et geodetisk trekantnett skulle

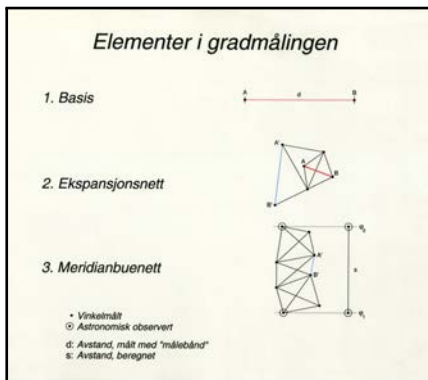


Figur 2.2: En geografisk sirkel. Foto: Bjørn Geirr Harsson

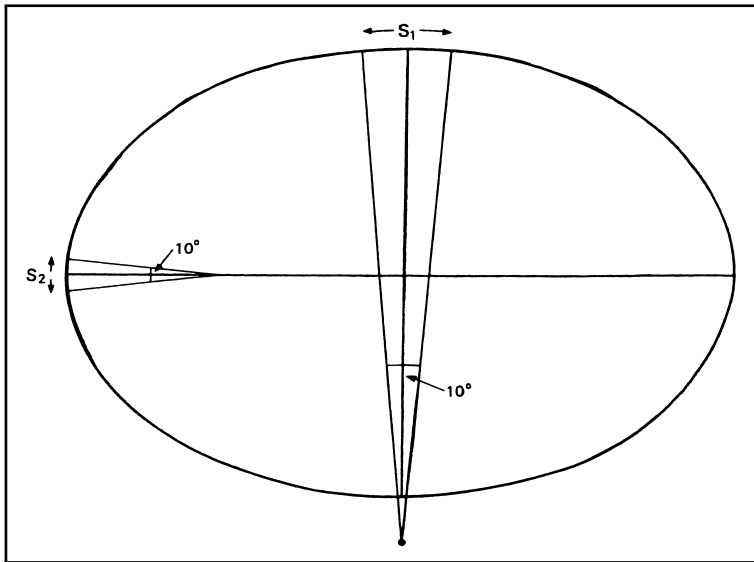
etableres som utgangspunkt for detaljkartlegging av topografi, infrastruktur og bebygelse. Geografiske sirkler kunne også orienteres vertikalt for å bestemme breddegrad ved å måle høydevinkelen til sol eller stjerner ved lokal meridianpassasje. Lengdegraden for noen få utvalgte stasjoner ble bestemt ved å observere når en av Jupiters måner gikk inn i planetens egen skygge, og sammenligne tidspunktet med samtidig hendelse observert i København eller andre kjente steder. Stjernekkikkert og pendelur

var nødvendig for disse aktivitetene. Skalaen i trekantnettet bestemte de ved å måle avstanden mellom de to endepunktene på basiser av 4 til 7 kilometers lengde på isen av store innsjøer, og så la disse basisene inngå som sider i trekantnettet de bygget opp.

Det som startet opp som en militær kart- og oppmålingsoppgave utviklet seg med tiden til også å bli en like mye sivil oppgave. Området som skulle kartlegges, ble utvidet til å gjelde hele landet.



Figur 2.3: Elementer i gradmåling.



Figur 2.4: Lengden av 10 buegrader ved ekvator og polene.

## Jordens form og størrelse

Hvis vi stopper opp og ser litt til hva som skjedde internasjonalt innen geodesi, kan det være naturlig å starte med noen reaksjoner på Isaac Newtons revolusjonerende verk om matematikken og naturen, som han publiserte i 1687. Ut fra jordens rotasjon mente Newton at den i form måtte være noe flatklemt ved polene. I så fall ville lengden av en buegrad målt langs en meridian være lengre ved polene enn ved ekvator. Franske geodeter, med erfaring fra måling av gradbuer i Frankrike hevdet at Newton tok feil, for de mente å kunne dokumentere at en buegrad i Syd-Frankrike var lengre enn i Nord-Frankrike.

I vitenskapelige kretser pågikk diskusjonen i en menneskealder om hvem som hadde rett, Newton eller de franske geodetene. Den ble ikke avsluttet før det franske vitenskapsakademiet fikk avgjort det hele ved å sende ut to ekspedisjoner til det som den gang i praksis ble regnet som verdens ytterpunkter, nemlig mot syd til Ecuador i Syd-Amerika og mot nord til Svensk Lappland. Konklusjonen kom i 1737, og den viste at Newton hadde rett. Ved nærmere kontroll fant man at de franske geodetene

hadde gjort en liten regnefeil. Denne ga utslag som lå bak deres feile påstand, siden det egentlig er ganske liten forskjell på en buegrad i Syd- og Nord-Frankrike.

## Den russisk-skandinaviske gradmålingen

I vitenskapelige kretser var det i de neste par hundre år stor interesse for å finne mer eksakt form og størrelse på jorden. Måling av gradbuer ble satt i gang flere steder. Også Norge ble involvert i et slikt gradmålingsprosjekt, den såkalte russisk-skandinaviske gradmålingen. Arbeidet med denne pågikk i perioden 1816–1855, hvor norske geodeter kom med fra 1845 til 1855.

Den russisk-skandinaviske gradmålingen strakte seg fra Ismail ved Svartehavet til Fuglenes i Hammerfest, en avstand på 2 821 853 m  $\pm$  12 m. På denne strekningen ble det etablert 265 trigonometriske punkter i en sammenhengende kjede. I 10 av punktene ble det gjort astronomiske observasjoner. Skalaen i systemet ble etablert fra 13 basiser, målt med den tids største nøyaktighet. Dette var, så langt vi har funnet, det første større internasjonale vitenskapelige prosjektet hvor Norge som nasjon deltok. Både kongen, regjeringen og Stortinget ble involvert, og de støttet prosjektet økonomisk. Hovedhensikten med prosjektet var å forbedre kjennskapet til jordens form og størrelse.

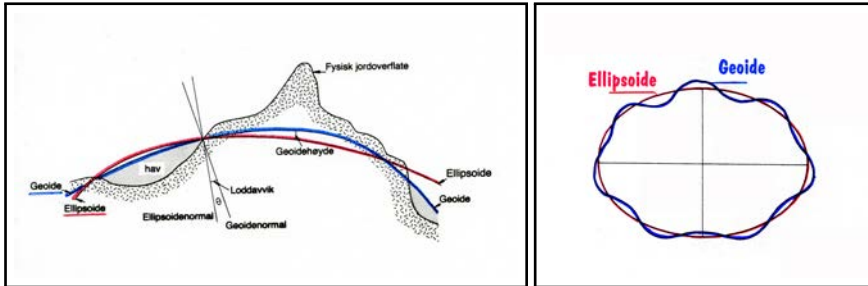
Arbeidet med Den russisk-skandinaviske gradmålingsrekken ble for ettertiden stående som eksemplarisk, og i 2005 ble 34 av de gjenfunnene originale målepunktene i prosjektet innskrevet i UNESCOs verdensarvliste under navne Struve Geodetic Arc. Den russiske vitenskapsmannen Wilhelm Struve hadde hovedansvaret for prosjektet.

Ved å måle tilstrekkelig mange bue-



Figur 2.5: Kart som viser Den russisk-skandinaviske gradmålingen.

## GEODESI



Figur 2.6: Skjematiske skisser av ellipsoidet og geoidet.

grader langs meridianer, kunne man ekstrapolere og finne flattrykkningen. Med dagens referanse-ellipsoide varierer lengden av en buegrad som vist i tabell 2.1.

Tabell 2.1: Lengden av en buegrad

Mellom breddegradene	Lengde av meridianbuen i meter	Differens i meter
0 – 1	110 574,39	0
60 – 61	111 420,73	846,34
70 – 71	111 568,26	993,87
89 – 90	111 693,86	1119,47

I 1862 inviterte Preussen de europeiske statene til å danne Den mellom-europeiske gradmålingskommisjonen for å binde sammen astronomiske observatorier fra syd til nord gjennom geodetiske gradmålingsrekker. Hensikten var å undersøke om rotasjonsellipsoiden var en tilstrekkelig presis tilnærming til jordklodens form. Mistanken var at lokale variasjoner i loddavviket kunne vise endringer i mindre skala. Av en gradmålingsrekke fra Sicilia til Trøndelag skulle Norge bidra med målingene fra Svinesund til Levanger. For å føre resultatene ned til den potensialflaten som representeres av midlere havnivå (geoiden), ble de første tidevannsmålere satt opp i Norge fra 1873 og utover. I 1890-årene ble måling av tyngdekraften med pendelinstrumenter tatt i bruk også i Norge. De fattet den gang interesse for å avlede geoidens forløp mellom observatoriene og de astronomiske stasjonene. Den norske deltakelsen i det europe-

iske gradmålingsprosjektet førte altså til at nye geodetiske metoder ble tatt i bruk (nivellement, vannstandsmåling og tyngdemåling, også kalt gravimetri). Videre ble det krevet at geodetiske målinger måtte gjennomføres med strengere kvalitetskrav enn tidligere.

Basiser i det norske trigonometriske nettet ble i 1850 og -60-årene målt med lånt instrumentering fra samarbeidspartnere, henholdsvis i Russland og Sverige. Feltarbeidet i Den russisk-skandinaviske gradmålingen ble utført av militære geodeter fra Norges geografiske oppmåling. Den europeiske gradmålingen, som pågikk i flere tiår, engasjerte i tillegg flere observatører fra Universitetet i Oslo (Kristiania). Astronomiprofessor Carl Fredrik Fearnley var Norges offisielle representant i Den europeiske gradmålingen.

## **Geodesiens stilling omkring 1917**

### **Det horisontale geodetiske grunnlaget**

De vitenskapelige gradmålingene stilte høye krav til presisjonen i resultatene. For kartleggingsformål hadde ikke kravene vært så høye, blant annet for å oppnå en rimelig produksjonstid for kart. Da gradmålingsarbeidene var ferdig beregnet omkring 1900, hadde Norge meget presise koordinater for de punktene i landet som var inkludert i gradmålingene. Resten av landet var derimot oppmålt gjennom en lang periode med skiftende instrumentering og varierende kvalitet. Situasjonen inviterte til en reorganisering av datagrunnlaget etter modell fra Europa. I 1906 startet Norges geografiske oppmåling etableringen av et nasjonalt nett av første ordens trigonometriske punkter, hvor det ble satset på høyeste kvalitet. Dette fikk senere betegnelsen *Det moderne førsteordensnett*.

På den tiden da Norsk Geofysisk Forening ble dannet, altså omkring 1917, sto Norge ennå i sin første fase med etablering av Det moderne førsteordensnett. Det viktigste hjelpemidlet geodeten hadde, var teodolitten. På den tiden var teodolitten utviklet til et stadium som ikke brakte ytterligere forbedringer, så lenge teodolitter var i bruk, det vil si frem til satellitt-teknologien overtok på 1990-tallet.

### **Det vertikale geodetiske grunnlaget**

Vi regner at det moderne høydenettet i Norge fikk sin oppstart i 1916. NGO kom riktignok i gang med nivellementslinjer langs veier og jernbanelinjer allerede i 1887.

## GEODESI

Men det tok noen år før utstyr og teknikk tilfredsstilte de krav som senere ble satt.

I 1916 hadde vi et klart definert nullnivå for det nasjonale høydesystemet, og vi hadde fått nivellerstenger med målebånd av invar sammen med nivellerkikkerter som holdt faglig høy kvalitet. Invar er en legering som består av 64 % jern og 36 % nikkel. I motsetning til andre metallegeringer er invar svært lite påvirket av temperaturendringer. Alt nivellementsarbeid utført før 1916 ble derfor forkastet.

Det første nasjonale høydesystemet var relatert til null-nivået på Kristiania vannstandsmåler basert på to årganger omkring 1890. Høydesystemet ble kalt Norsk Normalnull (NN).

I bakgården ved Norges geografiske oppmålings bygning i St Olavs gate 32, Oslo, ble det satt opp en steinstøtte med et fastmerke plassert inne i støtten, hvor høyden var angitt i forhold til det definerte nullnivået på vannstandsmåleren. For å gjøre utgangspunktet for det nasjonale høydesystemet lettere tilgjengelig, ble det i 1912 festet en messingkule på steinstøttens utside. Denne kulens topp, som var justert til høyden 18, 500 meter i NN, ble utgangspunkt for alle nivellerte høyder i Norge inntil utgangspunktet ble flyttet i 1954.

### Om tyngde

Tyngdekraften er proporsjonal med tyngdens akselerasjon og den angis i  $\text{ms}^{-2}$ . Det er tradisjon å benytte enheten  $\text{Gal} = 1 \text{ cms}^{-2}$ , oppkalt etter Galilei. I noen tilfeller støter man på avledede størrelser som:  $\text{milliGal} = [\text{mGal}] = 10^{-5} \text{ms}^{-2}$  og  $\text{mikroGal} = [\mu\text{Gal}] = 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ .

Tyngdens akselerasjon for et sted på jordoverflaten kan variere fra  $9.78 \text{ms}^{-2}$  ved ekvator til  $9.83 \text{ms}^{-2}$  ved polene. Den er resultanten av gravitasjonen forårsaket av jordens masse og sentrifugalakselerasjonen forårsaket av jordens rotasjon. Vektorens retning definerer loddlinjen på stedet. Ved høy målepresisjon må det korrigeres for tidsvariable gravitasjonskrefter fra sol, måne og planeter.



Figur 2.7: Støtten som var utgangspunkt for det første nasjonale høydesystemet i Norge.  
Foto: Bjørn Geirr Harsson



## Det geodetiske tyngdenettet

For tyngdemåling hadde man i 1917 kun Sternecks pendelapparat til disposisjon. To slike pendelapparater ble kjøpt inn i 1892. Det ene ble brukt av Gradmålingskomisjonen og senere overlatt til Norges geografiske oppmåling. Det andre ble brukt under Fridtjof Nansens polferd 1893–96. Også dette kom senere i Norges geografiske oppmålings eie. Sternecks pendelapparat ga tyngdeverdier med et standardavvik på 10 – 20 mGal.

## Utviklingen av det horisontale grunnlagsnettet

Gjennom drøye 80 år, frem til 1990, ble det norske førsteordensnettet bygget opp med til sammen ca. 450 punkter fordelt over hele landet. Inntil omkring 1960 var teodolitten viktigste arbeidsredskap for geodeten. Før 1920 ble flere typer teodolitter brukt, men fra 1920-årene var teodolitten Wild T<sub>3</sub> det enerådende merket i Norges geografiske oppmåling/Statens kartverk.

Førsteordensnettet dannet gjennom tidene grunnlag for ca. 50 000 lavere ordens trigonometriske punkter, som ble målt inn, frem til satellitt-teknologien overtok omkring 1990.



Figur 2.8: Sterneck-pendel for tyngdemåling.  
Foto: Bjørn Geirr Harsson

Målestokken i det trigonometriske nettet kom fra basiser, typisk på 4–8 km mellom endepunktene. De to endepunktene var gjerne markert med hver sin firkantete granittstein. Selve målemerket var markert med et lite kryss i en metallbolt sentrisk plassert i toppflaten. Basiser ble alltid plassert i ganske flatt lende. Til oppmålingen av basiser ble det benyttet 24 m lange invarbånd. Legeringen invar består av 35,5 % nikkel og 64,5 % stål, og har den egenskapen at den endrer seg lite med temperatur-svingninger.

Basismålingene var omstendelige og krevde store ressurser av mannskap og utstyr. I Norge ble det fra 1910 til 1938 etablert og målt 13 basiser, som gjennom ekspansjonsnett, ble tilknyttet førsteordensnettet. Utviklingen av elektro-optiske avstandsmålere fra slutten av 1950-årene og den senere satellitt-teknologien gjorde tradisjonelle basiser overflødige, for begge disse teknologier ga avstander direkte.

Punktene i førsteordensnettet har stort sett innbyrdes avstand fra 30 til 50 km. Triangulering i førsteordensnettet var en møysommelig prosess som krevde godt vær og fri sikt mellom punktene. For å oppnå stor nøyaktighet ble det fra 1920-årene fore-

Figur 2.9: Teodolitt av typen Wild T<sub>3</sub>. Den var i bruk i NGO fra ca. 1920 til ca.1990. Foto: Bjørn Geirr Harsson



tatt observasjoner med teodolitt om natten, der signallykter markerte siktepunktene. Førsteordensnettet ble orientert ved hjelp av astronomiske observasjoner i utvalgte første ordens punkter frem til 1970-årene. Med utgangspunkt i førsteordensnettet ble et annenordens nett bygget opp med sidelengder på ca. 10 km. Siste ledd i hierarkiet var et lavere ordens nett med trekantsider på 2–5 km. Til sammen utgjorde disse punktene det horisontale geodetiske grunnlagsnettet.

## **NGO1948**

I 1948 foretok NGO beregning av koordinater i førsteordensnettet i Sør-Norge, så langt som det da var målt. Resultatet av beregningen ble kalt NGO1948. Nettets utgangspunkt var et fastmerke i østre vang av observatoriet i Oslo, og referanse-flaten var en ellipsoide beregnet av Bessel i 1841, siden den var valgt av flere andre land i Europa. På grunn av problemer med overgangen mellom måleenheten toiser til meter utover på 1800-tallet, valgte man i Norge fra 1918 en modifisert Bessel-ellipsoide

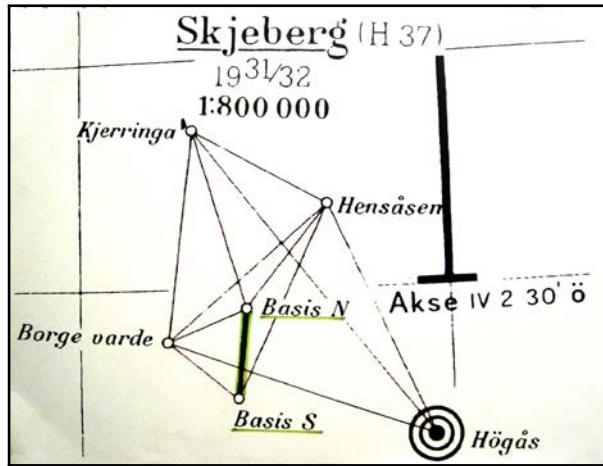


Figur 2.10: Kartet viser hvilke år førsteordens-nettet var ferdig målt og beregnet.

for det nasjonale koordinatsystemet anvendt for kart og oppmåling.

Fra ellipsoiden ble punktene ført ut i et kartplan via en sylinder som tangerte langs en meridian. Siden terrenget i kartplanet blir mer deformert jo lenger ut fra tangeringsmeridianen man kommer, måtte man innføre flere tangeringsmeridianer, siden landet har så stor utbredelse i øst-vest-retningen. I og med at Norges hovedland i øst-vest strekker seg over 27 lengdegrader, måtte det innføres 8 tangeringsmeridianer for å hindre at målestokkfortegningen overskred en gitt størrelse (1:10 000). Dette kartprosjeksjonssystemet benevnes Gauss-Krüger projeksjon, og den norske varianten med de 8 aksene kalles NGO1948-systemet. De fleste norske kommuner tok i bruk NGO1948-systemet.

I 1958 anskaffet NGO det første Tellurometeret til avstandsmåling. Etter en del testing ble Tellurometre fra 1962 brukt til direkte måling av sider i det norske førsteordensnettet. Norge var et av de tidligste landene i Europa til å ta i bruk trilaterasjon (avstandsmåling) i det geodetiske nettet. I løpet av de neste 7 år med trilaterasjonsarbeid ble resten av førsteordensnettet i Norge nord for Sognefjorden og Østlandet fullført helt opp til grensen mot Sovjet (Russland). Utover i 1970-årene ble det sup-



Figur 2.II: Det geodetiske nettet omkring en basis.

plert med avstandsmålinger i førsteordensnettet langs kysten og enkelte svake partier ellers i landet. De første elektroniske avstandsmålerne var basert på radiobølger og var noe tidkrevende å bruke. De ble erstattet fra 1975 av optiske laserinstrumenter som var enklere i bruk og ga større nøyaktighet enn de radiobaserte. Laserinstrumentene ble hovedsakelig brukt i de lavere ordens nettene.

Satellittkamera ble tatt i bruk av NGO i 1968, første gang i Tromsø. I samarbeid med tyske institusjoner ble solbelyste ballonger fotografert mot stjernehimmelen på klare høst- og vinterkvelder. Ved å måle ballongenes posisjon i forhold til kjente stjerner på fotografiske glassplater, kunne kameraets posisjon beregnes med noen titalls meters nøyaktighet.

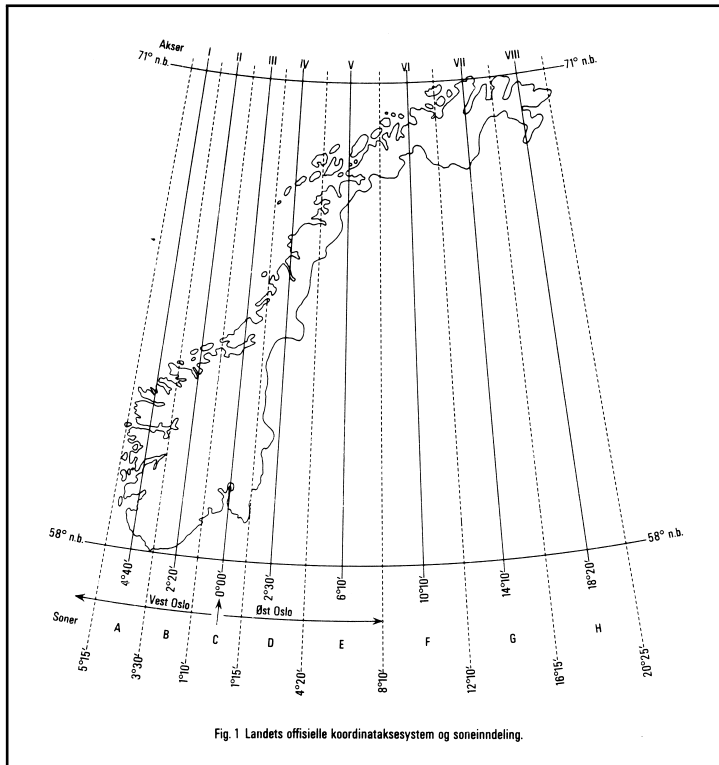
### Oppstart med Doppler-satellitter

Men før man rakk å få de første resultatene ferdig i NGO-prosjektet, dukket Doppler-satellittene opp. Disse satellittene sendte ut radiobølger med kjent frekvens. En mottaker på bakken registrerte en satellitts utsendte frekvensen som endret seg i forhold til satellittens relative bevegelse. Når satellitten beveget seg mot mottakeren, ble det mottatt høyere frekvens enn den satellitten sendte ut. Når satellittens radialhastighet var null, ble utsendt og mottatt frekvens like. Når så satellitten fjernet seg, hadde



Figur 2.12: Tradisjonell måling med teodolitt. Det brukes parasoll mot solstråling. Observatøren har assistent til å notere avleste tall. Hardangervidda 1964. Hårteigen i bakgrunnen. Foto: Bjørn Geirr Harsson

det mottatte signalet lavere frekvens enn det utsendte. Denne Doppler-effekten på signalet tillot beregning av satellittens fart og posisjon. Ut fra kjente banedata for satellitten var det mulig å beregne koordinater for mottagerens antenne i forhold til jordsenteret. Etter 3 dagers registrering av satellittpassasjer, kunne man oppnå nøyaktighet på ca. en meter for posisjonen til antennen. Denne teknologien begynte en revolusjonerende utvikling i geodesien. Ved å legge inn satellittmålinger i første ordens punkter helt syd og nord i Norge, kunne man få skalaen bestemt med en meters nøyaktighet over Norges lengde. I 1975 startet NGO med Doppler-målinger i førsteordensnett, og målingene pågikk i de neste 13 feltseongene. I løpet av disse årene ble utstyret også brukt for å beregne nøyaktig posisjon for Jan Mayen og øyene i Svalbardgruppen. Sammenlignet med tidligere astronomiske målinger på Jan Mayen ble øya «trukket» 350 m nærmere Norge da resultatet fra Doppler satellittmålingene ble kjent.



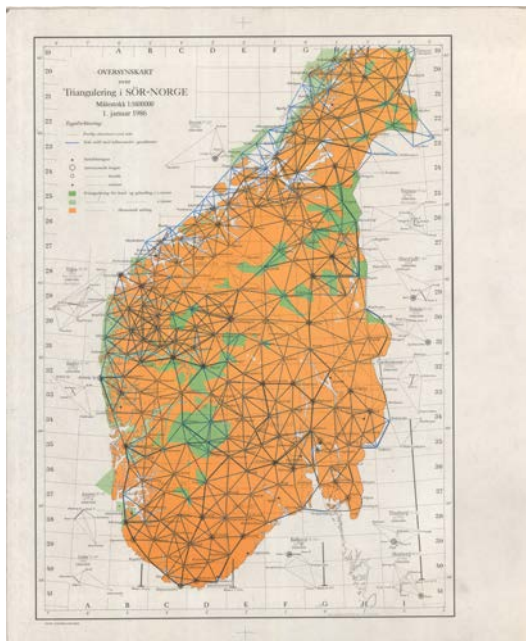
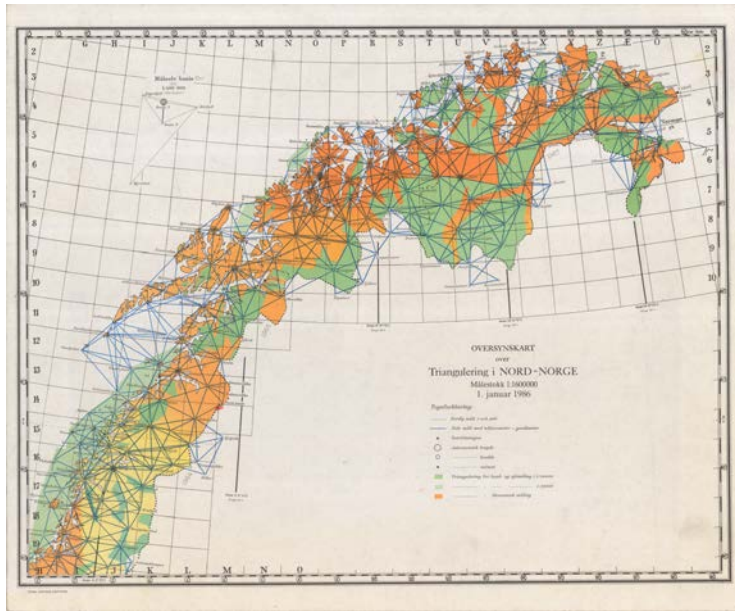
Figur 2.13: NGO1948-systemet med de 8 aksene.

En offentlig utredning om geodesien i Norge (NOU 1984:1 Norsk kartplan – geodesi) konkluderte i 1984 med at man burde etablere et nytt geodetisk grunnlag. Dette grunnlaget burde sammenfalle med det globale koordinatsystemet som navigasjonssatellittene opererte i. Utredningen viste til at fremtidens oppmålingsoppgaver og navigasjon til sjøs, på land og i luften ville foregå ved hjelp av satellittbaserte systemer. Viktige sikkerhetsgrunner tilsa at alt burde foregå i samme geodetiske referansesystem.

I Norge hadde NGO1948 i stor grad vært benyttet til nasjonale og kommunale kart- og oppmålingsoppgaver. Det tilhørende koordinatsystemet var imidlertid kun brukt i Norge og det baserte seg på en utdatert jordmodell. Det norske forsvaret



# GEODESI



Figur 2.14: Det norske førsteordens-nettet i 1986. Rødtlig område viser at nettet tilfredsstillter krav til økonomiske kartserier. I grønne områder tilfredsstilltes kravet til topografiske kartserier.



Figur 2.15: Dopplerantenne på Jan Mayens hovedpunkt, flyplassen, 1979. Foto: Bjørn Geirr Harsson



Figur 2.16: En GPS-satellitt. «Vingen» er solceller for energi. Den er stipulert å vare i ca. 7 år. Figur: NASA



benyttet en annen kartprojeksjon enn det sivile Norge. De fulgte retningslinjer fra NATO og brukte Universal Transversal Mercator projeksjon (UTM), og den anvendte ellipsoiden der var den som ble brukt i Europeisk Datum 1950 (ED50). Som følge av Forsvarets innflytelse på norsk kartpolitikk ble norske kart i målestokk 1:50 000 og mindre produsert i  $UTM_{(ED50)}$  fra midten av 1950-årene frem til tidlig på 1990-tallet.

### GPS tas i bruk

Teknologien i satellittbaserte posisjonssystemer gjorde epokegjørende fremskritt i 1980-årene. I 1985 tok NGO for første gang i bruk GPS til praktiske oppgaver. Da ble det nemlig etablert et nytt første ordens nett på Svalbard.



Figur 2.17: GPS antenne i et stamnett-punkt i Flekkefjord. Foto: Bjørn Geirr Harsson

I 1986 ble NGO og Sjøkartverket slått sammen i en organisasjon med navnet Statens kartverk. Geodesi ble en egen divisjon. Tre år senere tok Geodesidivisjonen sammen med det tyske Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) initiativet til en vesteuropeisk GPS-målekampanje. Den skulle danne grunnlag for en ny geodetisk referanseramme i Europa. I 1993 bestemte Statens kartverk at et nytt geodetisk grunnlag skulle introduseres i Norge. Det ble kalt EUREF89 siden det var en integrert del av den europeiske referanserammen.

Fra våren 1994 til sommeren 1997 gjennomførte Geodesidivisjonen nasjonale GPS-målekampanjer i Norge for å fortette EUREF89 i vårt område. Målet var et tidsmessig koordinatsystem til allmenn nytte for kart og oppmålingsvirksomhet, samt for navigasjon i norske områder.

Nøyaktigheten overgikk tidligere grunnlagsnett med flere størrelsesordener. Avstanden mellom Nordkapp og Lindesnes ble bestemt med noen millimeters nøyaktighet.

Norge var det første landet til å realisere et satellittbasert geodetisk grunnlag. Årsaken var blant annet at NGO ikke hadde foretatt noen justeringer av nettet fra 1948. Mange andre land hadde modernisert sine førsteordensnett, slik at kvalitetsvikten der ikke var så påfallende som i Norge. Da satellittbaserte metoder ble tatt i bruk, avslørte de betydelige svakheter i NGO1948. De opprinnelige beregningene av NGO1948 ble utført uten elektroniske regnemaskiner. Manuelle beregninger ble utført i tre blokker hver for seg. Det førte til tekniske svakheter i sammenføyningssonene. Da avstandsmålere ble tatt i bruk i 1970-årene, avslørte de flere signifikante deformasjoner i det norske geodetiske nettet.

Figur 2.18: Kartverkets VLBI-stasjon i Ny-Ålesund. Den var klar til bruk i 1994. I 2015 satte Kartverket i gang byggingen av en ny VLBI-stasjon i Ny-Ålesund. Foto: Kartverket



## **EUREF89 som nytt geodetisk grunnlag**

Fra GPS-observasjonene i 1994-97 ble det beregnet et nytt geodetisk grunnlagsnett i Norge bestående av 930 punkter fordelt over hele landet. De utgjorde det nye geodetiske stamnettet, som under beregningen ble knyttet til det europeiske nettet.

I tiden som fulgte, arbeidet Statens kartverk for at dette grunnlaget skulle innføres i alle norske kommuner og i all offentlig kart- og oppmålingsvirksomhet, det vil si både lokalt og nasjonalt. Innen Forsvaret, luftfart og til sjøs ble EUREF89 raskt tatt i bruk. Samtlige av de 727 landkart som dekker Norge i målestokk 1:50 000 og alle nye sjøkart fikk rutenett og gradnett innlagt med basis i EUREF89 før år 2000. Stavanger kommune var den første norske kommunen som tok i bruk det nye geodetiske grunnlaget. I dag (2016) har alle norske kommuner gått over til EUREF89.

Kartverket har de siste 20 årene bygget ut et nettverk av permanente GPS-stasjoner i hele landet. Dataene benyttes til navigasjon og oppmålingsoppgaver, både i sann tid og ved etterprosessering. Både Kartverket og andre aktører tilbyr posisjonstjenester med flere presisjonsnivåer. Bruken av slike tjenester er sterkt økende, både innenfor oppmåling, kartlegging og anleggsvirksomhet. Kartverket gjennomfører flere tiltak for ytterligere å bedre presisjonen til posisjonstjenestene. Et av de viktigste tiltakene er innføring av det nye høydesystemet NN2000.

## **Norsk VLBI-stasjon etableres i Ny-Ålesund**

Kartverkets målbevisste alliansebygging med utlandet ga norsk geodesi tidlig adgang til helt ny satellitt-teknologi. Det tette internasjonale samarbeidet med den ameri-

kanske romorganisasjonen NASA førte til geodetisk utnyttelse av Norges strategiske posisjon i nord. VLBI-observatoriet i Ny-Ålesund på Svalbard sto ferdig i 1994 og har levert førsteklasses data til realisering og oppdatering av de globale geodetiske referanserammene. I VLBI (VLBI = Very-long-baseline interferometry) utnyttet radio-støy fra fjerne galakser til å bestemme jordrotasjonshastigheten og globale posisjoner. Ut fra tidsforskjellen for samme støysignals ankomst ved de ulike VLBI-antennene, kan avstanden mellom antennene bestemmes med stor nøyaktighet. VLBI-systemet kontrollerer igjen systemer som GPS og andre.

Flere observasjons-teknikker er kommet til etter hvert. Viktigheten i dette bidraget til internasjonal geodesi er tydelig understreket av myndighetenes beslutning om bygging av et nytt geodetisk observatorium i Ny-Ålesund. Etter planen skal det stå ferdig i 2018.

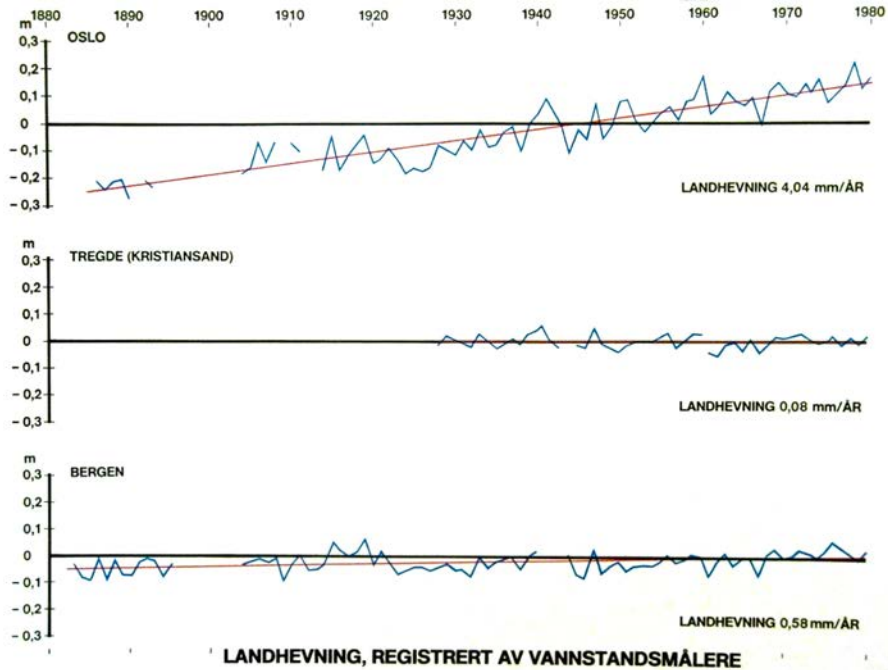
De romgeodetiske observasjonene som er samlet inn over flere år, har avslørt både horisontale og vertikale bevegelser på grunn av kontinentaldrift og landhevning. Norge og resten av det europeiske kontinentet driver i nordøstlig retning med 17 mm/år. Den Fennoskandiske landhevningen etter siste istid er størst (10 mm/år) innerst i Bottenviken og avtar mot null vestover langs norske-kysten. Det innebærer systematiske forflytninger av store masser, altså en geoid som også endrer seg med tiden.

## Utviklingen av det vertikale nettet

I 1826 anskaffet Norges geografiske oppmåling kvikksølvbarometer for bestemmelse av høyder. Det var kjent at lufttrykket avtok med høyden over havet (en millibar for hver 25 fot (= 8 m) man steg vertikalt). I forbindelse med deltakelsen i Den russisk-skandinaviske gradmålingen ble trigonometrisk høydebestemmelse (vertikal-vinkler målt med teodolitt) utprøvd i Norge fra 1846. Da var man opptatt av om havnivået i Nordishavet og Den botniske bukt kunne være forskjellig. Resultatet viste at det ikke var signifikant nivåforskjell på de to hav.

Til tross for at det ble målt sporadiske høyder, fikk man ikke høyder angitt på norske kart før omkring 1870, ved oppstarten av rektangelkartene i målestokk 1:100 000. Fra denne tiden ble alle teodolitter konstruert med mulighet for å måle vertikalvinkler.

Allerede på konferansen til det europeiske gradmålingsprosjektet i Berlin i 1864 var det enighet om at hvert land skulle etablere et nasjonalt høydesystem basert på



Figur 2.19: Kurvene viser havnivåendringen ved tre norske vannstandsmålere, Oslo, Tregde og Bergen.

nivellement og referert til et fastmerke som var høydebestemt i forhold til midlere havnivå. Senere skulle dette samordnes for å velge et felles europeisk utgangspunkt, hvor Amsterdam var aktuelt som utgangspunkt.

### Vannstandsmålere i Norge

Den norske gradmålingskommisjonen prioriterte de geodetiske og astronomiske observasjonene i de første årene. Imidlertid utnyttet man to store anleggsprosjekter, ny havn i Trondheim og utbygging av Oscars-borg festning, til å få installert selvregistrerende vannstandsmålere, der i 1872. I første halvdel av 1880-årene kom det ytterligere til 6 vannstandsmålere fordelt langs hele kysten.

I 1903 mente Gradmålingskommisjonen at den hadde gjort ferdig alle beregninger knyttet til de permanente vannstandsmålerne. Dermed overlot kommisjonen det



Figur 2.20: Støtten som viser utgangspunktet for det nasjonale høydesystemet NN1954. Foto: Bjørn Geirr Harsson

videre ansvaret for vannstandsmålerne til NGO.

Gjennom noen 10-års observasjoner, ble det avdekket sekulære trender i vannstanden flere steder. For Oslo ble det estimert at landet hevet seg med 4 mm per år i forhold til havnivået. En utjevning av nivellementet i Sør-Norge i forhold til 7 vannstandsmålere ga nye verdier for høydene. NGO besluttet derfor i 1954 å innføre en ny nasjonal høydereferanse Normal Null 1954 (NN1954) knyttet til vannstandsmåleren ved Tregde.

Vannstandsmåleren der hadde ikke vist noen signifikant endring i havnivået fra 1928 til 1950. Dessuten er det ikke tidevann i Tregde, siden tidevannsbølgen nord for Storbritannia motvirkes av tidevannsbølgen som går gjennom den britiske kanalen. Vannstanden i Tregde varierte bare med høytrykk og lavtrykk foruten vindretning og styrke.

### **Høydesystemet i Sør- og Nord-Norge knyttes sammen**

På den tiden manglet geometrisk sammenheng mellom høyder nord for Tysfjord og syd for Fauske på grunn av mange fjorder som brøt opp veisystemet. Derfor innførte NGO et eget høydesystem nord for Tysfjord som ble referert til nullnivået på vannstandsmåleren i Narvik. Dette ble kalt Nord-Norsk Null 1957 (NNN1957). I 1974 ble forbindelsen mellom Fauske og Narvik ferdig nivellert med flere fjordoverføringer. Beregninger viste da at gapet mellom NN1954 og NNN1957 bare var 28 mm, med NNN1957 lavest. Differansen var mindre enn måleusikkerheten for strekningen Fauske-Narvik. Fra 1996 ble de to systemene slått sammen under betegnelsen

Figur 2.21: Hytten som rommer vannstandsmåleren i Tregde. I forgrunnen et stamnettspunkt. Foto: Bjørn Geirr Harsson



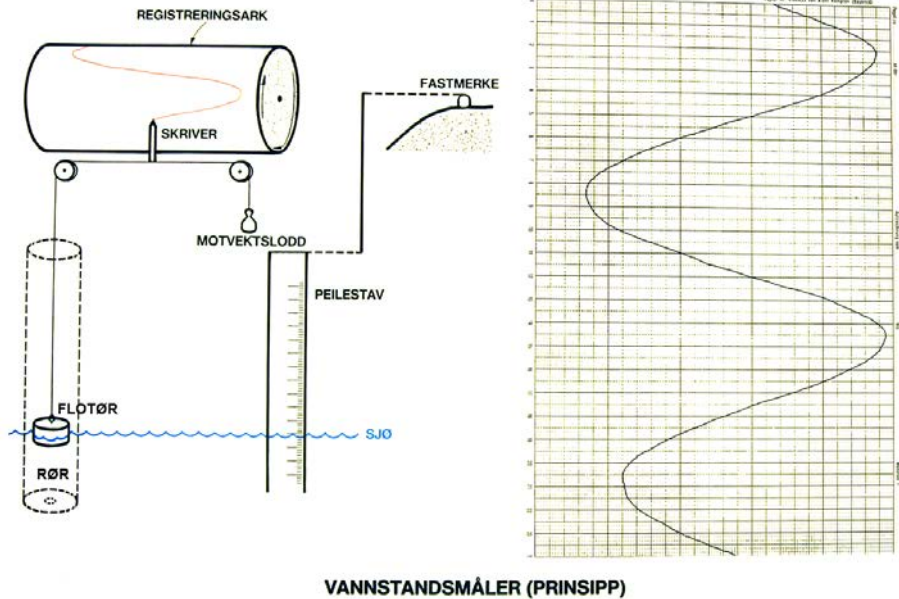
NN1954.

Kravet til et nivellement frem og tilbake var at avviket skulle være mindre enn 4 mm per km for målinger før 1972 og 2 mm per km etter 1972. Alle nivellerte strekninger ble målt i begge retninger med start og slutt i samme punkt. Fra 1980 ble nivellerutstyret montert i biler. På grunn av store omkostninger og krav til trafikksikkerhet, gikk man etter ca. 20 år tilbake til fotnivellement.

De nyeste nivellerstengene har strekkoder for automatisk avlesning i stedet for lineær inndelt cm-skala. Omkring 1980 ble nivellementsnettet i Norge knyttet til det europeiske nivellementsnettet UELN (Unified European Levelling Net). Landhevingen i Skandinavia ble lenge ansett som en forstyrrelse i et ellers stabilt europeisk nivellementsnett. Bedre data og avanserte analysemetoder avslørte etter hvert vertikale bevegelser også i andre deler av Europa. Da ble Skandinavia inkludert i det europeiske høydenettet. De politiske endringene i Europa etter 1990 muliggjorde et vidstrakt samarbeid østover. I 1997 ble det gjennomført en satellittbasert målekampanje i 30 stater i Europa for å utarbeide et felles europeisk høydesystem. Målingene ble knyttet til ca. 50 vannstandsmålere langs Barentshavet, Nordsjøen, Østersjøen, Atlanterhavet og Middelhavet.

En felles nordisk-baltisk utjevning la grunnlag for et felles høydesystem i Norden. Ved å utvide beregningen med nivellementsnett fra Polen, Nord-Tyskland og Nederland kunne det refereres til det europeiske fundamentpunktet i Amsterdam som har fått en bestemt potensialverdi i det nye høydesystemet. Det er derfor ingen definisjonsmessig tilknytning lenger til midlere havnivå eller vannstandsmålere. Det





Figur 2.22: Prinsippskisse for en vannstandsmåler. Registreringsarket til høyre viser timevise vannstandsverdier mellom høyvann og lavvann.

nye høydesystemet kalles NN2000 i Norge, RH2000 i Sverige og N2000 i Finland. På grunn av landhevingen har man bestemt å referere høydesystemet til et bestemt årstall, året 2000.

En del kommuner har innført høydesystemet NN2000, og det forventes at det vil være innført i de fleste av landets kommuner i løpet av 2017.

## Utviklingen av tyngdemåling

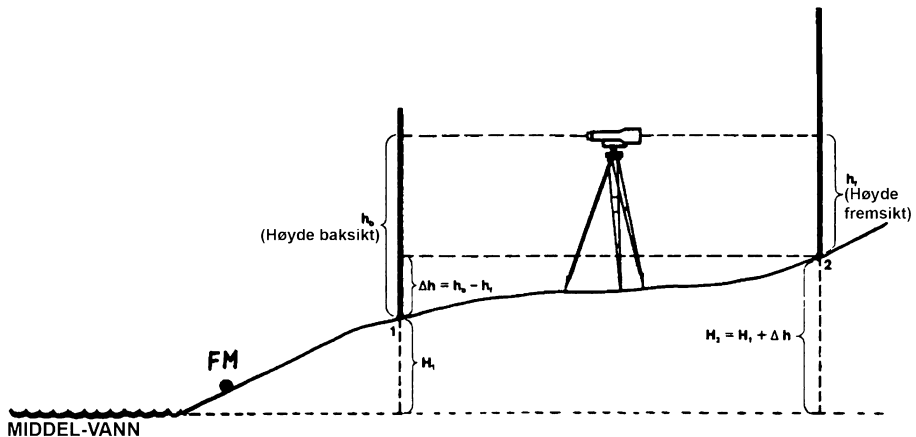
Fysiske høyder angis i forhold til en potensialflate i jordens tyngdefelt, som best mulig er tilpasset det midlere havnivå (geoiden). Siden tyngdefeltet varierer med sted og høyde, og siden nivellement følger topografien, må det foretas tyngdebestemmelse der høyder er målt.



Utover i 1920-årene modifiserte en av geodetene i NGO Sternecks pendelapparater. Men stor forbedring i målenøyaktigheten fikk man først i 1947. Da ble det kjøpt inn et Nørgaard-gravimeter, som var basert på fjærvektprinsippet. Bare 6 år senere kjøpte NGO et Worden-gravimeter, som var enklere å betjene og minst like nøyaktig. Da SAS åpnet sin flyrute over nordpolen i 1957, var dette gravimeteret med på åpningsturen og geodet Sømmod målte den relative tyngdeforskjellen mellom Oslo og Anchorage i Alaska. Det sies at det var første gang tyngdeoverføring foregikk mellom Europa og USA med stor nøyaktighet.

Fra 1968 fikk NGO låne et LaCoste & Romberg gravimeter fra Defence Mapping Agency (DMA), USA, og det ble innledningen til et langvarig og intenst tyngdemålingsprogram i NGO. Et LaCoste & Romberg gravimeter kan måle med en presisjon på ca.  $10 \mu\text{Gal}$ , det vil si at siste angitte siffer, som er  $\mu\text{Gal}$ , tilsvarer en vertikal bevegelse fra/mot jordsenteret på 3 mm. De nærmeste årene lånte NGO til sammen fem LaCoste & Romberg gravimetre fra DMA.

Med bil og helikopter startet NGO i 1969 et omfattende program for tyngdemåling som dekket hele landet. Målepunktene skulle ha mindre enn 10 km innbyrdes avstand. Det ble først og fremst målt i trigonometriske punkter og nivellements-



Figur 2.23: Prinsippskisse for nivellement.



Figur 2.24: Bilnivelement klar til måling. Foto: Bjørn Geirr Harsson



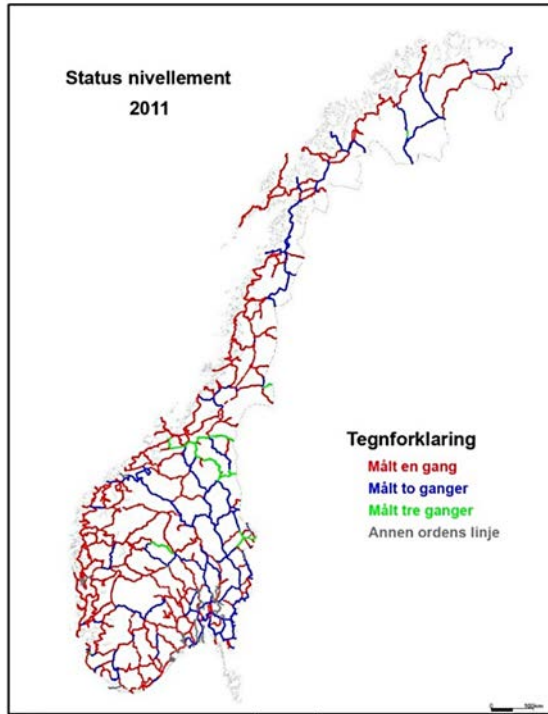
Figur 2.25: Vanlig fotnivelement med måler og to av de tre assistentene. Foto: Bjørn Geirr Harsson

fastmerker. Tyngdeverdiene ved nivellementsfastmerkene ble brukt til korreksjon av nivellerte høydeforskjeller. Målet var å oppnå et entydig høydesystem. Dessuten skulle tyngdeverdiene inngå i beregninger av geoiden, som er referanseflaten ortometriske høyder regnes fra.

### **Geoidens høyde over ellipsoiden**

Etter at GPS og tilsvarende satellittsystemer, som med felles betegnelse kalles Global Navigation Satellite System (GNSS), ble den foretrukne måleteknikken i mange anvendelser, har geoiden fått en ny rolle. Høyder avledet fra GNSS-målinger, ellip-

Figur 2.26: Status for nivellementsnett i Norge i 2011.



soidiske høyder, er angitt i forhold til en referanse-ellipsoide. Til praktiske formål er det imidlertid høyder i det nasjonale høydesystemet som brukes, det vil si høyder over geoiden. Altså må geoidens høyde over referanse-ellipsoiden være kjent i det området der man arbeider med GPS, og helst med en presisjon lik (eller bedre enn) GPS-bestemmelsen av ellipsoidisk høyde. I Norge varierer geoideshøyden over ellipsoiden med fra 18 m i Øst-Finnmark til 48 m i Jotunheimen.

Vanligvis benyttes det en høydereferansemodell ved bestemmelse av geofysiske høyder fra GNSS-målinger. En høydereferansemodell er en geoidmodell som er justert inn på punkter med godt bestemt ellipsoidisk høyde og nivellert høyde. En rekke fastmerker med både nivellert høyde (i forhold til geoiden) og ellipsoidisk høyde (i forhold til ellipsoiden) er da benyttet som utgangspunkter for beregning av høydereferansemodellen.

I 2013 besto Kartverkets tyngdedatabase av 11 800 målepunkter på norsk jord



Figur 2.27: Worden gravimeteret som i 1957 var med på første ruten til SAS over Nordpolen. Foto: Bjørn Geirr Harsson

med posisjonsangivelse i alle tre dimensjoner. Det ble i stor utstrekning benyttet helikoptertransport under feltarbeidet. Da klarte man typisk ca. 30 detaljpunkter på gode dager. Med bil kunne man klare opptil 15 punkter per dag, til fots sjelden mer enn 5.

Da en europeisk geoidmodell skulle beregnes i 1990-årene av universitetet i Hannover, bidro Kartverket med tyngdemålinger ved nivellementsfastmerker langs de utvalgte hovedlinjene.

### **Tyngdemåling i Arktis**

Kartverket har også etablert lokale tyngdenett i Arktis. Etter et vulkanutbrudd på Jan Mayen i 1970 ble det etablert geofysiske målestasjoner på øya. NGO opprettet et gravimetrisk hovedpunkt ved flyplassen på Jan Mayen sommeren 1973, som ble knyttet til det gravimetriske hovednettet på fastlandet. Året etter ble det etablert et tyngdenett bestående av 21 målepunkter sydvest for Beerenberg-vulkanen. Nettet ble ommålt i både 1976 og 1979. Observasjonene påviste ingen signifikante endringer i tyngdekraften på Jan Mayen.

I 1978 ble Svalbard knyttet til det nasjonale tyngdenettet og et tyngdenett på



Figur 2.28: LaCoste & Romberg gravimeter med tilbehør ved et målepunkt. Foto: Bjørn Geirr Harsson

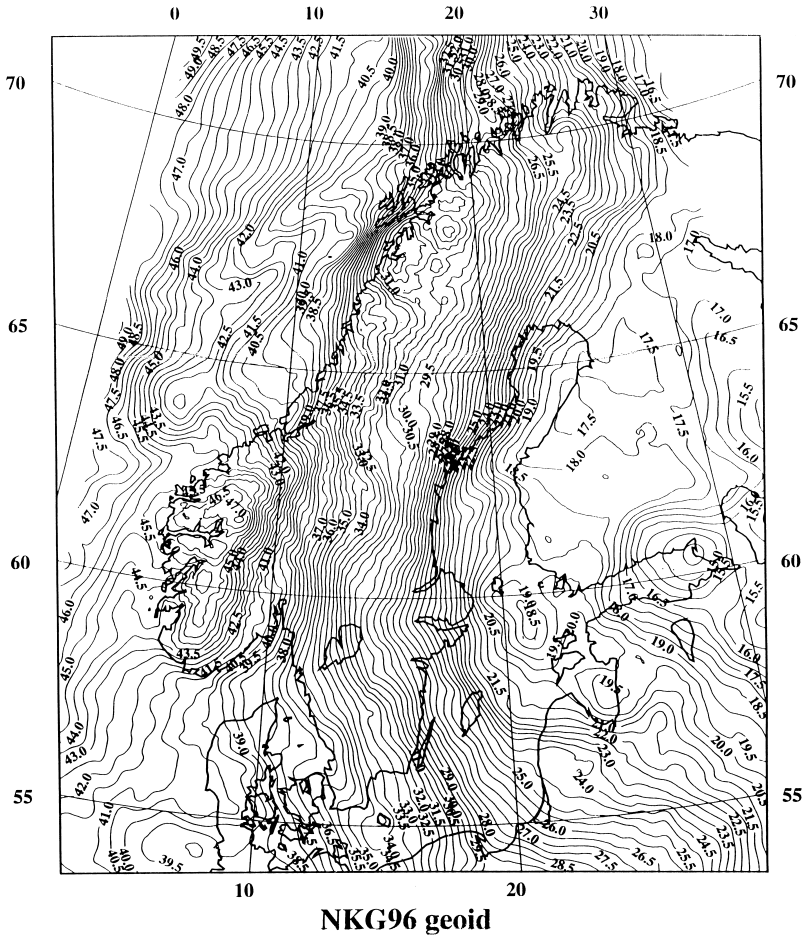
Svalbard ble etablert utover i 1980-årene. Det var under dette arbeidet geodet Åge Midtsundstad omkom under en helikopterulykke på Åsgårdfonna, Spitsbergen, sommeren 1987.

### **Tyngdemåling og vertikalbevegelser**

Da det store vannkraftreservoaret Blåsjø i Sør-Norge skulle demmes opp i 1980-årene, ble det skapt en innsjø som rommet 3 milliarder tonn vann. Dette vakte internasjonal interesse for å undersøke hvordan denne tyngden ville deformere jordoverflaten i området. Kartverket, NORSAR og universitetene i Bergen, Berlin og Darmstadt samarbeidet om en stor kartlegging med mange geofysiske og geodetiske instrumenter. Blåsjørapporten viste en innsynkning av jordskorpen med 3 cm i vannreservoaret og en liten oppstuvning noen km utenfor.

Langsomme deformasjoner på grunn av landhevingen i Norden etter siste istid har vært kartlagt i prosjekter koordinert av NKG (Nordiske kommisjonen for geodesi).

# GEODESI



Figur 2.29: Geoidens høyde over ellipsoiden. Modellen er fra 1996.

Tyngden har vært målt gjentagne ganger langs såkalte landhevninglinjer som går i øst-vestlig retning gjennom de nordiske land på breddegradene  $56^\circ$ ,  $61^\circ$ ,  $63^\circ$  og  $65^\circ$  N. Punktene på disse landhevninglinjene er valgt slik at målt tyngdeverdi ikke varierer mer enn 1 mGal for samtlige punkter på linjen. Den best observerte er  $63^\circ$ -linjen som er målt 8 ganger siden 1968. Det er benyttet bortimot 10 gravimetre under målingene og

observatører fra flere nasjoner har deltatt. Målingene avdekker at maksimal endring i tyngden med tiden følger den geometriske modellen for landhevningen med et maksimum ved Kramfors i Sverige, nær Bottenhavet.

Et av Kartverkets LaCoste & Romberg-gravimetre ble teknisk modifisert i 1994 til å registrere tyngden med høy tidsopløsning. Det har vært oppstilt flere steder for å observere tidsserier over flere måneder til bestemmelse av periodisitetene i tidejord-svariasjonen.

### **Absolutte tyngdemålinger med fritt fall-gravimetre**

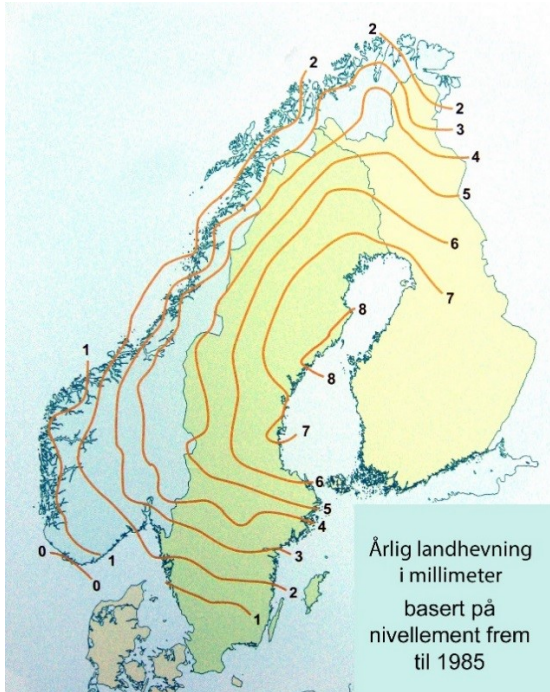
De første målingene i Norge med et absoluttgravimeter foregikk med et italiensk instrument i Hammerfest i 1976. Resultatet ble mangelfullt fordi korreksjoner for polbevegelse og atmosfærens trykk ikke ble påført. Neste anledning oppsto i 1991–92 da et finsk JILA-instrument målte i Stavanger, Trysil og Tromsø i et samarbeid med Statens kartverk. Slike instrumenter hadde en målenøyaktighet på  $\pm 10 \mu\text{Gal}$  eller bedre. I 1993 var en rekonstruert og forbedret versjon kommersialisert. FG5-101 kom fra Tyskland og FG5-102 fra USA, med Kartverket som koordinator. Det ble målt i Stavanger, Hønefoss, Trysil og Tromsø. Målenøyaktigheten var  $\pm 2 \mu\text{Gal}$ . Oppfølgende målinger ble gjort i 1995 og 1998.

I 2004 anskaffet Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) absoluttgravimeteret FG5-226. Tyngdekraften finnes der på bakgrunn av gjentagne tidsmålinger for et fallende glassprisme i tilnærmet vakuum. Tyngdekraften er da eneste kraft som virker på massen og tiden tas med en meget presis klokke basert på atomets egenskaper.

Gravimeteret ble satt inn i årlige målekampanjer for å videreføre de påbegynte tidsseriene og øke antall målestasjoner i Norge. Den gode målenøyaktigheten på  $\pm 2 \mu\text{Gal}$  gjorde det mulig å konfrontere globale modeller for tidevannets belastning på norske kyststasjoner, og man utviklet forbedrede regionale modellens korreksjon for denne effekten. Tidsserier over flere år i Trysil avslørte sesongvariasjoner i tyngdekraften på grunn av varierende nedbør og grunnvannstand, og på grunn av belastning på jordoverflaten fra sne. Sistnevnte effekt var merkbar både fra lokale masseendringer rundt observasjonsstedet, men også som en regional belastningseffekt fra snemengden som dekket hele Sør-Norge.

Når det korrigeres for kortperiodiske og sesongmessige variasjoner i tidsseriene, fremkommer sekulære endringer i tyngdekraften av forskjellig styrke på forskjellige steder i Norge. Landhevningen etter siste istid løfter jordoverflaten som en viskoelas-





Figur 2.30: Kartet viser dagens landhevning i Norden (mm per år).

tisk reaksjon på at store ismassene smeltet bort for 10 000 år siden. Denne effekten er minst langs norskekysten og størst innerst i Bottenvika, siden hele Fennoskandia i sin tid var dekket av ismasser på en til to kilometers tykkelse.

Ved å sammenligne endringen i tyngde med geometriske høyde-enderinger kan man vinne innsikt i de geodynamiske fenomener som finner sted i jordens indre. Det omfattende observasjonsprogrammet gjorde det mulig å velge ut de mest nøyaktige resultatene for hvert sted. Et nasjonalt nett av 16 observasjonssteder med tyngdens akselerasjon bestemt til bedre enn  $3 - 4 \mu\text{Gal}$  og endring på mindre enn  $-1 \mu\text{Gal}/\text{år}$  utgjør den mest nøyaktige referansen for tyngde i Norge.

Et superledende gravimeter har registrert tidsvariasjonen i tyngdens akselerasjon på et fast observasjonssted i Ny Ålesund på Svalbard siden 1999. Fra tid til annen har samtidige målinger vært utført med absoluttgravimeter. Det har ført til en kalibrert tidsserie på 9 år som viser både sesongvariasjoner og trender over flere år. Det har vært tolket som deteksjon av viskoelastisk landhevning fra siste istid overlagret



en umiddelbar elastisk landheving forårsaket av dagens massetap fra isbreene på Svalbard.

### **Tyngdemåling fra fly**

I 1990-årene muliggjorde finansiering fra EU flere internasjonale samarbeidsprosjekter hvor fly ble benyttet til målinger. Et relativgravimeter fra LaCoste & Romberg, S-99 tilhørende Universitetet i Bergen, ble montert på en tregheitsplattform for måling fra luften av relative endringer i tyngdekraften. Målingene dekket store arealer på kort tid og viste et standardavvik på ca.  $\pm 2$  mGal. Et forsøksprosjekt i Skagerrak i 1996 med Statens kartverk som norsk deltaker ga lovende resultater. I 1998 ble flygravimetrisk målinger utført langs kysten av Grønland og ved Svalbard i et samarbeid med Kort- og Matrikelstyrelsen i Danmark. Ytterligere flybaserte gravimetermålinger ved Svalbard ble utført både i 1999 og 2001.

I 2003 ble koordinerte observasjoner gjennomført med finansiering av EU og Norges forskningsråd i havområdene mellom Norge, Svalbard, Grønland og Island. I tillegg til å fremskaffe observasjoner i nye områder var hensikten å knytte sammen eksisterende sjøgravimetrisk data ved å sammenligne med de flygravimetrisk resultatene. Datasettet ble analysert for å bestemme strømningsforholdene i Framstredet ved Svalbard.

### **Gravitasjonsmålinger fra satellitt**

NASAs tvillingssatellitt GRACE har foretatt gjentatte målinger av jordens globale gravitasjonsfelt siden 2002. Målingene var vellykkede og viste regionale endringer i geoiden på grunn av sesongvariasjoner i nedbør, flom, avsmelting fra isbreer, postglacial landheving og et jordskjelv i havet utenfor Sumatra i 2004.

Analyserte tidsserier av gravitasjonsfeltet fra GRACE har påvist variasjoner i et område med sentrum i Trysil, som stemmer særdeles bra med de observasjonene som er foretatt på stedet med absoluttgravimeter.

GOCE-satellitten har målt jordens gravitasjonsfelt med bedre presisjon og romlig oppløsning enn noen annen satellitt. Målingene ga data for tidsrommet september 2009 til november 2013, og de er homogent fordelte over jordkloden med unntak av områder nær polpunktene. Gradiometeret om bord er nyutviklet teknologi, og det var derfor av betydning at resultatene ble sammenlignet med uavhengige observasjoner på bakken. UMB-universitetet på Ås påtok seg denne oppgaven med finansiering

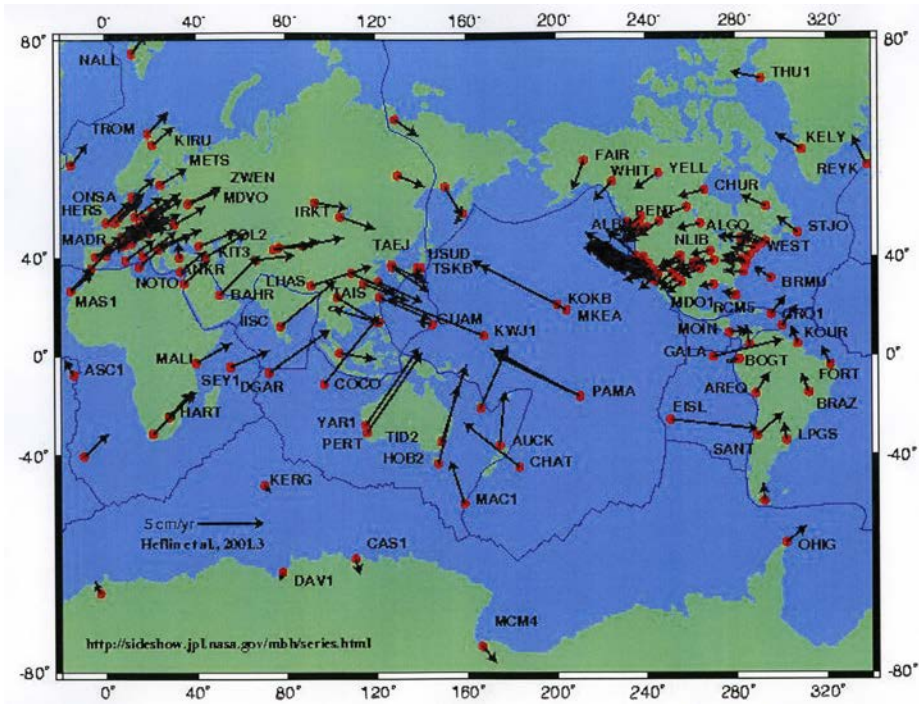
fra Romforskningsprogrammet i Norges forskningsråd. Det ble utviklet beregningsstrategier og programvare for valideringsprosedyrer slik at hele kjeden fra observasjon via data-prosessering til beregning av globale tyngdefeltmodeller kunne underkastes kontroll.

De beste tyngdedataene fra den nasjonale tyngdedatabasen ble kalibrert ved hjelp av UMBs absoluttgravimeter som observerte samtidig med GOCE. Kartverkets databaser for loddavvik i Norge og for GPS-nivellement ble også benyttet. Geoidehøyder ble avledet fra flere regionale og globale geoidmodeller. Valideringsberegninger konfronterte GOCE-resultatene med bakkedataene, både på geoiden og i satellittens banehøyde.

## Geodesiens stilling i 2017

Med et betrakningsvindu på 100 år kan man få inntrykk av at de største endringene i norsk geodesi har skjedd i de siste ca. 30 år. De første årene er preget av systematisk oppmåling av landet og en gradvis forbedring i presisjon som følge av tekniske forbedringer i utstyrsparken. Det ble skapt et paradigmeskifte i geodesien gjennom utviklingen av elektronikk og romfartsteknologi. Landmålerens rolle har fått helt nytt innhold på det nasjonale og internasjonale planet. Nye begreper og nye instrumenttyper er innført fra andre vitenskapsgrener. Observasjonssystemer og tenkning er blitt globalt orientert. Nye fagdisipliner har trengt seg frem. Dette har ført til store forandringer i utdanningssystemet og i det sentrale forvaltningsorganet for geodesi, Statens kartverk. Man har fått gevinster i observasjonsmangfold, presisjon og dekningsgrad som tidligere generasjoner ikke hadde grunnlag for å forutse. Geodesiens mål og anvendelser er ikke lenger avgrenset til å gi grunnlag for nasjonale kartserier, men faget er blitt premissgiver for deteksjon og overvåking av klodens geofysiske endringer, både naturlige og menneskeskapte.

Geodetisk bistand er også aktivt brukt av departementer og etater, blant annet av Utenriksdepartementet under forhandlinger med nabostater om grenselinjer til sjøs gjennom de siste 50 år. Som en kuriositet kan nevnes at Norges samlede land- og sjøareal på den nordlige halvkule er beregnet av geodeter til å utgjøre 2 419 150 km<sup>2</sup>. Arealet vil fortsatt øke noe når man får fordelt arealer i Smutthavet som formelt ennå ikke er avklart.



Figur 2.31: Oversikt over kontinentaldriften. Skala som viser 5 cm/år (year) er vist nede til venstre i figuren.

## Fremtidsutsikt for geodesi

Med bakgrunn i enkelte uheldige utsagn om fremtidsutsikter fra tidligere geodeter, har vi lært at vi bør være yderst forsiktig med å si noe bastant om fremtiden. I 1840-årene ble det for eksempel hevdet at det var unødvendig å måle opp de indre strøk av Finnmark, for topografisk kartlegging der ville det aldri bli behov for.

Med unntak av nivellement har satellittbasert teknologi konkurrert ut alle tidligere klassiske geodetiske metoder som vinkelmåling, avstandsmåling, basiser og astronomiske observasjoner. Men nivellement holder fortsatt stand mot satellittene med sitt krav til maksimum avvik på 2 mm per km nivellert strekning frem og tilbake.

Posisjoner kan man i dag få på centimeters nøyaktighet. Kanskje kommer man ned i millimeters nøyaktighet både for horisontale og vertikale koordinater. Kanskje

vil det i fremtiden være tidsfaktoren man vil kunne spare inn på under geodetiske målinger.

Tidligere har geodesi blitt oppfattet som et fag litt på siden av geofysikken. Det ser vi jo i navnet på organisasjonen IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Men i fremtiden ligger geodesi mer an til å bli en inkludert del av geofysikken, og det gamle skillet kan bli borte.

### Referanser

Harsson, Bjørn Geirr, Pettersen, Bjørn Ragnvald, (2014). *2014: Noen trekk fra geodesiens utvikling I Norge de siste 200 år*. Kart og Plan nr 1, 2014.

Harsson, Bjørn Geirr, Aanrud, Roald (2016). *2016: Med kart skal landet bygges - Oppmåling og kartlegging av Norge 1773–2016*. Statens kartverk.

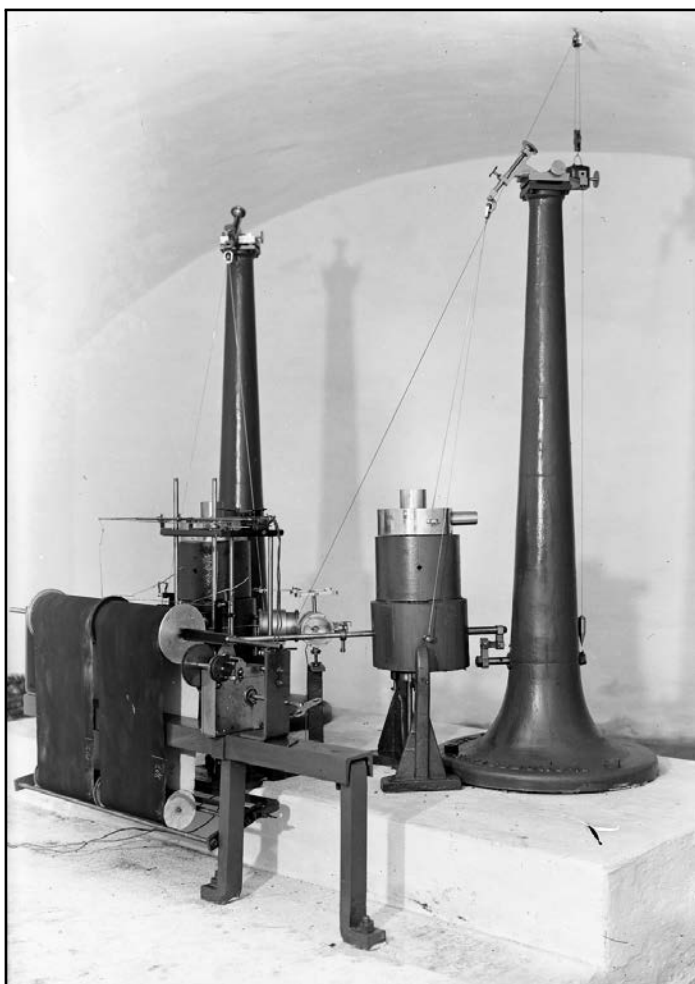
Kartverkets arkiver og årsberetninger.

Pettersen, Bjørn Ragnvald, Harsson, Bjørn Geirr (2014). *2014: Gravimetri i Norge i 200 år*. Kart og Plan nr 1, 2014.

de Seue, Cristian Martini (1878). *Historisk Beretning om Norges geografiske Opmaaling fra dens Stiftelse i 1773 indtil Udgangen af 1876*. Grøndahl & Søns Bogtrykkeri, Kristiania.

# Kapittel 3 — Seismologi og den faste jords fysikk

Av HILMAR BUNGUM



Forrige side:  
Seismografen på jordskjelvstasjonen, innviet på Bergens  
Museum i 1905 etter spesiell løyve fra Stortinget. Bildet er  
antagelig tatt i 1932. Foto: UiB

## Sammendrag

Fagområdet for seismologi og den faste jords fysikk daterer seg i Norge tilbake til 1880-årene da det ble begynt med en relativt systematisk innsamling av observasjoner om hvordan jordskjelv ble følt. Før dette er det imidlertid bare sporadiske data tilgjengelig, på grunn av at landet generelt hadde svake tradisjoner for skriftlig nedtegning. Fram til første verdenskrig ble observasjoner av nye norske jordskjelv registrert relativt systematisk, og det ble holdt en viss kontakt med utenlandske forskningsmiljøer og med internasjonale organisasjoner. Under de to verdenskrigene stoppet det hele imidlertid nesten helt opp, og det var også dårlig i mellomkrigstiden, selv om Norsk Geofysisk Forening (NGF) var nystiftet da.

Det tok også lang tid å komme i gang igjen etter andre verdenskrig, og det begynte å skje noe først ved det Internasjonale Geofysiske År, 1957–58. Deretter gikk det fort, drevet fram mellom annet av behovet for å monitorere og kontrollere kjernefysiske prøver. Ekspansjonen skjedde både innen instituttsektoren og på universitetene, der oljeutvinningen ble den sterke drivkraften på 1970- og 80-tallet. Det siste tiåret har vært mer preget av konsolidering, og det er ikke noen gitt å si noe om hvordan dette vil utvikle seg i tiden som kommer.

## Bakgrunn

Seismologiske metoder er spesielt godt egnet for undersøkelse av jordens indre fordi de har, sammenlignet med andre geofysiske metoder basert på for eksempel elektrisitet, magnetisme, gravitasjon eller varme, en unik gjennomtrengningsevne med liten dempning i kombinasjon med at den veien de har gått gjennom jorda kan beregnes med stor presisjon. Dette henger sammen med de relativt korte bølgelengdene, som bestemmer romlig oppløsning.

Faggruppen for seismologi og den faste jords fysikk er direkte knyttet til den internasjonale fagassosiasjonen IASPEI (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) som fylte 100 år i 2004<sup>1</sup> og som er organisert under IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics). Fagfeltets innhold har selv-

---

<sup>1</sup>Dette kapitlet er delvis basert på H. Bungum: (2003): *National Centennial Report for Norway. International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Vol. B.*, W. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings og C. Kisslinger (Eds.), 40 s.

følgelig forandret seg mye over tid; i utgangspunktet var det fysikerne som interesserte seg for den faste jord, rundt temaer som størrelse, fysisk og kjemisk sammensetning, tyngdefordeling, elektrisitet, magnetisme, varme, etc., og her er det mange store navn. Senere kom geologene mer på banen, spesielt etter at gradualismen ble etablert, med viktige bånd mellom geologisk (Hutton, Lyell) og biologisk (Darwin) evolusjon. Jordens tilblivelse og alder lå innbakt i alt dette. Fastjords-geofysikerne er av enda nyere dato, som uttrykk for ytterligere spesialisering, og etter dette igjen kommer seismologene, som egentlig har vært på banen bare siden 1880-årene<sup>2</sup>.

En nyttig side ved geofysikkbegrepet er at det bygger bro over flere disipliner som arbeider med å forstå vår egen jord, og som derfor naturlig kan samles i en forening som NGF. Dette er også en avgrensning, som også må gjøres mot den grunnere geofysikken (med seismikk som hovedelement), som har hatt en stor ekspansjon i Norge de siste 40-50 år på grunn av oljeindustrien. Innen dette området må det gjøres nok en avgrensning mot grunnundersøkelser (ofte kalt 'anvendt geofysikk') som var godt etablert før det norske oljeeventyret startet. Den fastjords-geofysikken som vi derfor står igjen med i relasjon til NGF er derfor den som går dypere inn i jorden og som i hovedsak er dekket av seismologien.

Seismologien er delt i to hovedområder der det ene er det mange tenker på først, nemlig å studere jordskjelv som sådan og deres virkninger, og når dette skjer i samarbeid med strukturgeologer og geodeter kalles det ofte seismotektonikk. Dette foregår igjen på to nivåer, studier av enkeltkjelv og ensemblestudier som innebærer samanalyser av et større antall jordskjelv. Det andre hovedområdet innen seismologi kom først, nemlig å studere seismiske bølger og fra disse å trekke ut informasjon om de områdene i jordens indre som bølgene har gått gjennom. Det burde nevnes her at et av de aller største navnene innen dette felt er den danske seismologen Inge Lehmann, som i 1936 publiserte en artikkel som sannsynliggjorde at jordkjernen er delt i en ytre og en indre del.

Dette kapitlet er organisert som en beskrivelse av utviklingen i Norge av fastjordsfysikken som fagfelt, med spesiell oppmerksomhet på hvordan denne historien knytter seg inn mot NGF i løpet av de siste 100 år. Dermed er vekten lagt på utviklingstrender og vitenskapshistorie mer enn på fagstoffet som sådant, og det betyr også at dette kapitlet ikke er stedet å gå hvis en er interessert i en balansert oversikt for eksem-

<sup>2</sup>En populærvitenskapelig beskrivelse av jordens indre finnes i H. Bungum (1998): *En reise til jordens indre. NRK P2-Akademiet, Vol. J*, Kulturredaksjonen, NRK P2, Oslo, s. 9–21.



pel over viktige fagpersoner og betydningsfulle artikler. På samme måte er mange av figurene og de få referansene som er tatt med her bare ment som illustrasjoner til noe som diskuteres i teksten.

## En famlende start for et nytt fag

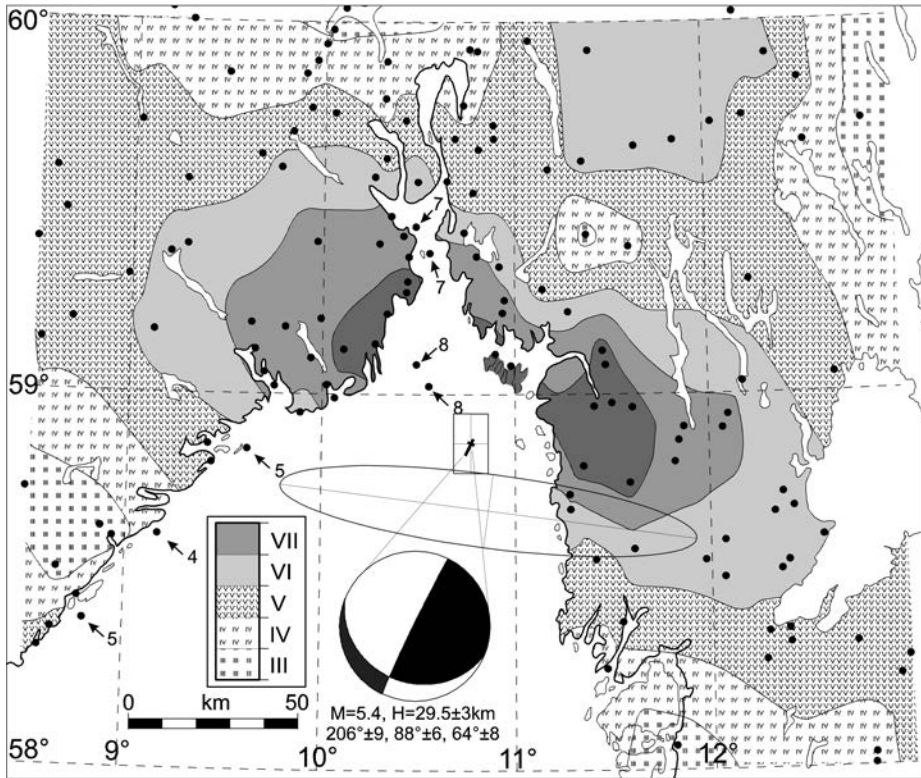
Studier av jordskjelv i Norge daterer seg tilbake til 1880-årene (Reusch, 1888; Thomassen, 1888; Sellevoll og Sundvor, 2001) og dette begynte omtrent samtidig i flere land, knyttet til en økende interesse for naturvitenskap i sin alminnelighet. Data ble samlet inn på en ganske systematisk måte, ofte gjennom spørreskjemaer, og det var et deskriptivt arbeid som har vært til stor nytte senere siden det har tjent til å skape en relativt lang tidsserie av noenlunde sammenlignbare makroseismiske observasjoner, fram til i dag. Sammenlignet med andre land (f. eks. England, se Musson, 2013) med en sterkere tradisjon enn Norge for skriftlig dokumentasjon er likevel Norge ganske dårlig stilt her.

Verdens første instrumentelle registrering på stor avstand, av et jordskjelv i Potsdam og i Japan, ble gjort samtidig i Wilhelmshaven den 17. april 1889 av Ernst von Rebeur-Paschwitz, med instrumenter som egentlig var konstruert for å registrere andre planeters innvirkning på tyngdefeltet. Det resulterte i en artikkel i *Nature* (Rebeur-Paschwitz, 1889). Seismografer var imidlertid blitt konstruert også før dette, men i beste fall med lokale registreringer.

Etter dette fikk vi en relativt rask utvikling av den mekaniske seismografen, som etter hvert ble installert i mange land, samtidig som det raskt ble utviklet en forståelse for hvordan teleseismiske data kunne brukes til å utvikle bedre

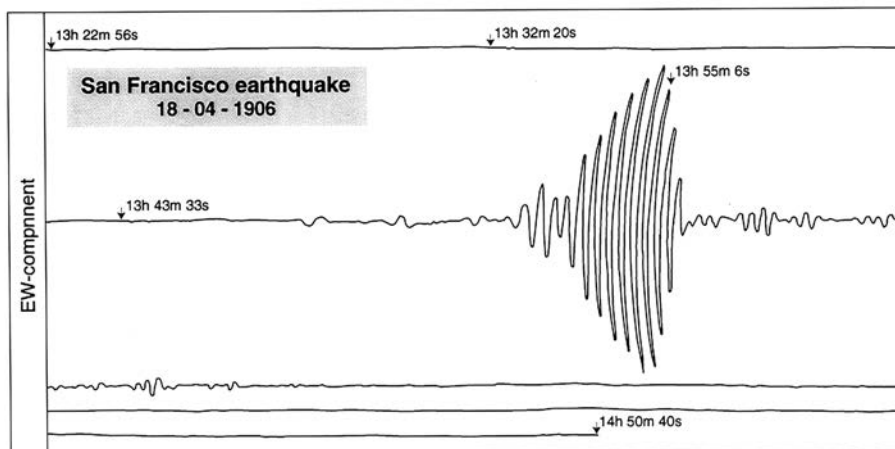


Figur 3.1: Carl Fredrik Kolderup



Figur 3.2: Jordskjelvet 23. oktober 1904, reanalysert på basis av originale data. Skraverte områder indikerer rystelsenes styrke (fra III til VII). Fra Bungum et al. (2009).

modeller for jordens indre, i første omgang basert på jordskjelvbølgens gangtider. Denne utviklingen kom også raskt til Norge der det som nevnt allerede var godt innarbeidete rutiner for å studere lokale jordskjelv. Den store pioneren her var geologiprofessoren Carl Fredrik Kolderup (1869–1942; Figur 3.1), som hadde studert under W.C. Brøgger i Kristiania og som etter hvert ble professor og direktør ved Bergen Museum, som senere skulle bli Universitetet i Bergen (UiB). Det store gjennombruddet her var det store (styrke 5.4) jordskjelvet den 23. oktober 1904 i Oslofjorden, som gjorde det mulig for Kolderup å få Stortinget til å bevilge midler til en seismograf (i Bergen!). 1904-skjelvet ble godt kartlagt, noe som senere har gjort det mulig, basert på gamle



Figur 3.3: Registrering fra Bosch-Omori-seismografen ved Bergen Museum av jordskjelvet i San Francisco 18. april 1906, styrke 8.2. Tegnet om fra den originale registreringen.

data og nye metoder, å lage en mer avansert modell for dette jordskjelvet (Figur 3.2). Slike gamle data er derfor fremdeles viktige når seismotektoniske forhold studeres i dag.

Søknader om bevilgning til en seismograf i Bergen ble sendt i 1900, i 1902 og i 1903, men det var altså først etter jordskjelvet i 1904 at det ble fart i sakene. Valget falt på en enkel Bosch-Omori seismograf med en masse på bare 10 kg og en forsterkning på bare 40 (!), installert i mai 1905. Det var derfor litt av en begynnerflaks at en god registrering ble gjort allerede den 9. juli 1905 av et M 8.2 skjelv i Mongolia, og at en allerede den 18. april 1906 registrerte det berømte San Francisco-skjelvet, også med styrke 8.2 (Figur 3.3).

I løpet av de første ti årene etter installasjonen registrerte dette instrumentet i gjennomsnitt sju jordskjelv pr år som ble samlet i bulletiner og publisert internasjonalt. Bosch-Omori-seismografen var i drift helt til 1959, men ble supplert med et mye mer følsomt instrument, en Wiechert seismograf, allerede i 1921. Denne seismografen hadde en svingemasse på ca 100 kg og en forsterkning på ca 150, og den registrerte ca 90 skjelv pr år som også ble delt med omverdenen. Instrumentet var i drift til 1968 og er nå, sammen med Bosch-Omori, utstilt på Institutt for geovitenskap, UiB.

Avlesningene fra seismografen i Bergen ble samlet i bulletiner som flere ganger om året ble sendt pr post til institusjoner i mange land, og det kom også mange henvendelser om spesielle jordskjelv som utenlandske kollegaer arbeidet med og der det var viktig å få tak i data fra så mange avstander og retninger som mulig. I nyere tid har også interessen for gamle registreringer tatt seg opp, og det er blitt satt i gang større prosjekter for å digitalisere disse registreringene (oftest gjort på sotet papir som kunne gi en meget høy kvalitet). Problemene med disse gamle dataene har først og fremst vært at både tidsangivelser og kalibrering (av utslagene) ofte kunne være usikre.

Kolderup publiserte årlige oversikter over jordskjelv i Norge mellom 1890 og 1938, og allerede i 1913 fremsatte han idéen om at jordskjelvene kunne ha en sammenheng med den skandinaviske landhevingen, noe som fremdeles er sterkt omdiskutert. Utover dette var aktiviteten innen dette fagområdet i Norge ganske beskjedne, stort sett begrenset til å utveksle data med andre land. Det var jo også betegnende at C.F. Kolderup and hans sønn Niels-Henrik Kolderup (1898–1971), som etter hvert overtok ansvaret for jordskjelv-registreringene, og Anders Kvale etter ham igjen, alle var strukturgeologer. Seismologi som profesjon var det ennå ikke plass til i dette lille og fattige landet. Men internasjonalt var det en god del aktivitet, og en av de store pionérene her var briten John Milne (1850–1913) som med basis i Japan bygde opp et verdensomspennende seismologisk nettverk mot slutten av 1800-tallet (Musson, 2013). En internasjonal seismologisk assosiasjon ble foreslått allerede på 1895 av Georg Gerland (1838–1919) og i 1904 ble International Seismology Association (ISA) stiftet med 18 medlemsland, deriblant Norge og Sverige (Rothé, 1981). Denne fikk imidlertid en kort levetid, på grunn av den første verdenskrigen.

De to verdenskrigene og tiden i mellom ble en vanskelig tid også for seismologien, som heller ikke i Norge ble tilgodesett under mellomkrigstidens såkalte kulturpause (Sellevoll og Sundvor, 2001). I 1922 ble det etablert en Seismology Section under IUGG og i 1930 var en internasjonal assosiasjon (IAS) tilbake på plass, som gikk over i dagens IASPEI i 1951. Det praktiske samarbeidet fortsatte også etter første verdenskrig ved at en International Seismological Summary (ISS) ble utgitt fra 1922, første gang med data fra 1918. Denne rapporteringen hanglet og gikk opp gjennom mellomkrigstiden, med store økonomiske problemer og ofte med årelange forsinkelser. Under andre verdenskrig stoppet det hele selvfølgelig opp igjen, og det bedret seg først da rapporteringen fra et nytt International Seismological Centre (ISC) startet opp i 1963, lokalisert til Edinburgh.

## HILMAR BUNGUM

Figur 3.4: Professor Markvard A. Sellevoll i anledning utdelingen av (den første) Brøggerprisen i 2003. Professor Sellevoll var en nøkkelperson ved oppbyggingen av seismologimiljøet ved UiB allerede fra slutten av 1950-tallet og han var også en pionér under organiseringen av den marine geofysikken ved UiB fra 1960-tallet og utover. Foto: UiB



Også i Norge stoppet det vitenskapelige arbeidet innen fastjords-geofysikken nesten helt opp under andre verdenskrig, og det tok lang tid å komme i gang igjen. I Bergen var det imidlertid fremdeles en viss kontinuitet i stasjonsdriften, men med beskjeden vitenskapelig utnyttelse av dataene bortsett fra bulletinene. Men på slutten av 1950-tallet, etter at økonomien hadde tatt seg opp og mye av gjenoppbyggingen etter krigen var gjennomført, begynte det så smått å skje noe også innen dette fagfeltet.

### **En ny tid; nye perspektiver**

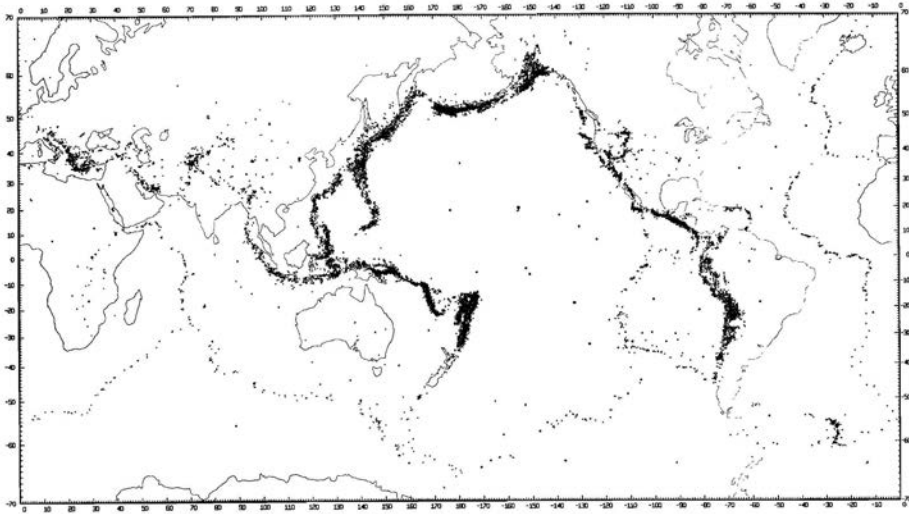
Det internasjonale geofysiske året 1957–58 var et viktig prosjekt for den globale geofysikken, og i Norge ble seismologien tilgodesett med en stilling fra forskningsrådet (NAVF) i 1957 som gikk til Markvard Sellevoll (figur 3.4). En seismisk stasjon på Svalbard (Isfjord Radio) ble installert i 1958, året etter også en i Bergen. Samtidig inviterte Universitetet i Hamburg kolleger i Bergen med på et samarbeid innen seismisk støy fra havområder, med formål å bidra til kartlegging av lavtrykk, selv om det etter hvert viste seg at meteorologien klarte dette bedre med sine egne metoder var dette likevel et nytt steg inn i internasjonalt prosjektsamarbeid. Oppstarten på det som etter hvert skulle bli et omfattende samarbeid med USA kom gjennom en permanent seismisk

stasjon i Tromsø som US Coast and Geodetic Survey bidro med i 1959, mens NAVF finansierte en stasjon på Jan Mayen i 1961. Hjulene begynte så smått å rulle ...

I 1960 ble Jordskjelvstasjonen i Bergen (de facto) opprettet som eget institutt ved UiB. I årene etterpå dukket så mulighetene for å finne hydrokarboner på den norske kontinentalsokkelen opp, sammen med behovene for å utvikle seismologiske metoder for kontroll av kjernefysiske prøver. Den første av disse skulle vise seg å bli drivkraften bak en betydelig ekspansjon ved instituttet fra ca 1965 og utover (Sellevoll og Sundvor, 2001), men vil ikke bli nærmere dekket her siden den grunnere geofysikken som tidligere nevnt ikke sorterer under IASPEI, og dermed NGF. Likevel er det slik at mange av metodene er de samme og skiller seg fra hverandre bare gjennom skala, og dermed blir mye av forskningen også nær beslektet. I tillegg til dette stod instituttet også bak en stor utbygging av det norske seismiske stasjonsnettet fra 1980-tallet og utover, med tilknyttet forskning og undervisning, noe som klart ligger under IASPEI.

Seismologiens rolle i de storpolitiske diskusjonene rundt kjernefysiske prøver ble tydelig allerede i 1958 da FN organiserte en såkalt «Conference of Experts» i Genève. I 1963 ble det så inngått en avtale om et (trilateralt) forbud mot kjernefysiske sprengninger i atmosfæren og under vann, i stor grad drevet fram av folkelige protestbevegelser mot radioaktivt nedfall. Underjordiske sprengninger ble imidlertid ikke tatt med her, delvis grunnet manglende politisk vilje og delvis grunnet uenighet om i hvilken grad en slik avtale kunne kontrolleres. En utredning i USA (Berkner-panelet) i 1959 om hva som kunne og burde gjøres resulterte i et velbegrunnet forslag til en storstilt global opprustning av seismologien, teknisk og vitenskapelig.

Berkner-panelets utredning resulterte i prosjekt Vela-Uniform, finansiert av Advanced Research Projects Agency (ARPA). Mellom mye annet ble det etablert et globalt nettverk av seismologiske stasjoner (World-Wide Standardized Seismograph Network, WWSSN) som var operativt allerede i 1963 og ferdig i 1967, med 121 stasjoner over hele verden, inkludert Norge (Kongsberg) og Svalbard (Kings Bay). Dette kom til å revolusjonere ikke bare seismologien men også den globale geofysikken; det viste seg nemlig raskt at det nye nettverket, som i utgangspunktet var politisk motivert, kunne kartlegge den globale seismisiteten mye mer presist enn tidligere, inkludert hvilke krefter som medvirket (Figur 3.5). Dette var det som trengtes for å få på plass de siste bitene i puslespillet rundt de tidligere omstridte kontinentalforskyvningene, som etterpå skulle bli kjent som platetektonikk. En ny vitenskapelig revolusjon av



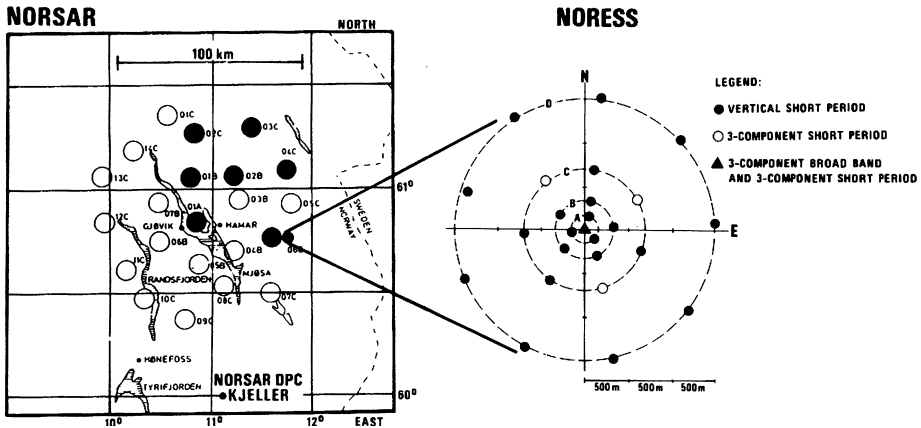
Figur 3.5: Global seismisitet fra Isacs et al. (1968), vesentlig basert på data fra det nye WWSSN-nettverket, 1961-1967. Alle de viktigste plategrensene avtegner seg tydelig.

stor betydning var dermed på plass<sup>3</sup>, og en ny ramme for fastjords-geofysikken var på plass.

## Faglig og institusjonell ekspansjon

Berkner-panelets anbefalinger begrenset seg imidlertid ikke bare til WWSSN, og for Norge betydde dette først en mindre array-stasjon nær Lillehammer (1963–69) og deretter det store Norwegian Seismic Array (NORSAR), som kom i drift i 1969–70. Med amerikansk finansiering ble det også bygget opp et sterkt forskningsmiljø ved NORSAR, etter hvert knyttet til Norges ratifikasjon av den fullstendige prøvestansavtalen (CTBT) fra 1996. Samarbeidet med USA har alltid vært viktig selv etter at Norge (ved UD) overtok ansvaret for driften av NORSAR-anleggene i 1999. På grunn av at noen land fremdeles ikke har ratifisert avtalen er denne imidlertid ennå ikke formelt

<sup>3</sup>En diskusjon av denne revolusjonen i lys av Thomas Kuhns vitenskapsteorier finnes i H. Bungum og O. Eldholm (2014): *Thomas Kuhn etter 50 år: En platetektonisk innfallsvinkel*. Nytt Norsk Tidsskrift, 1, 43-52.



Figur 3.6: Den opprinnelige NORSAR-arrayen, der hver av de 22 sub-arrayene også bestod av flere seismometre. NORESS var en array som ble bygd i 1984 og som var bedre egnet til å registrere data fra regionale avstander. Senere er instrumenteringen på disse stasjonene modernisert flere ganger, og NORSAR har også bygd anlegg andre steder (Nord-Norge, Svalbard).

trådt i kraft, men likevel er størstedelen av verifikasjonsregimet i full drift, med senter i Wien. Verifikasjon av CTBT er fremdeles en viktig del av NORSARs oppgaver, blant annet gjennom ansvar for etablering, drift og vedlikehold av seks målestasjoner på norsk territorium som inngår i overvåkingsnettverket for CTBT.

Noe av grunnen til at Berkner-panelet så sterkt anbefalte en satsning på bred faglig front var at de innså at seismisk verifikasjon (å skille mellom jordskjelv og eksplosjoner) ville kreve en vitenskapelig innsats på nesten alle av fastjords-geofysikkens områder; det ville ikke være nok bare å bygge nye målestasjoner. Dette betyr forskning på tre forskjellige områder: (1) seismiske kilder og mekanismer, som forskjellene mellom jordskjelv og eksplosjoner bunner i, (2) seismisk bølgeforplantning, som krever detaljert kjennskap til jordens indre struktur, både skorpe, mantel og kjerne, siden dette påvirker bølgeforplantningen, og (3) forholdene rundt og under de seismiske stasjonene, siden disse varierer sterkt og derfor også påvirker de registrerte signalene. Dette krever i sin tur ikke bare bedre kjennskap til jordens indre men også til hvordan jordskjelvføremkomsten påvirkes av tektoniske forhold, seismotektonikk.

Dette var de faglige utfordringene som den første forskningsgruppen ved NORSAR ble stilt overfor på 1970-tallet, og med relativt generøse bevilgninger uten detaljert

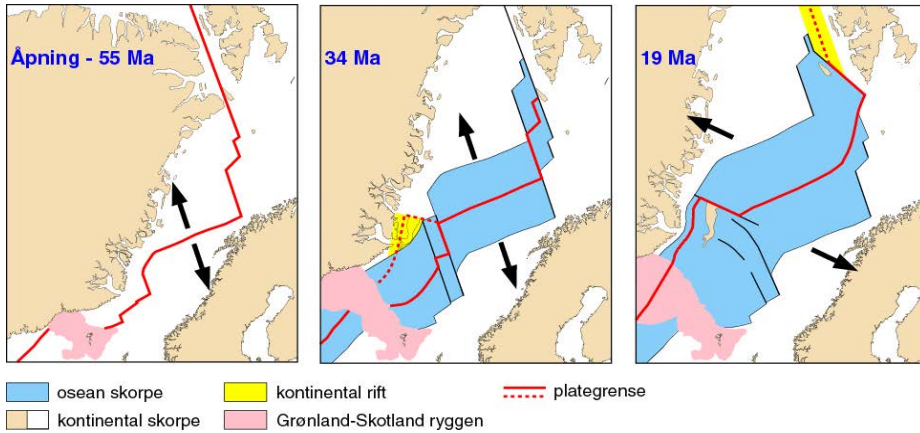


øremerking (en utenkelig luksus i dag) var det fritt fram for å kaste seg over gode idéer. Siden NORSAR-anlegget (Figur 3.6) sammen med et tilsvarende anlegg i Montana (LASA) også representerte et seismologisk kvantesprang, med digital registrering og sanntids dataanalyse, ble institusjonen også fort meget attraktiv for forskere fra andre land, og siden alle data og resultater var åpne og fritt tilgjengelige inkluderte dette til og med Sovjetunionen, midt under den kalde krigen.

Det var ingen selvfølge i 1970 at NORSAR skulle bli noe mer enn en avansert seismisk stasjon, men med en initiativrik forskningsgruppe og et konstruktivt samarbeid med norske myndigheter (først og fremst norske forskningsråd og Utenriksdepartementet) ble det etter hvert til en egen institusjon som over tid utviklet seg til en forskningsstiftelse med opp til nærmere 50 ansatte (<http://www.norsar.no>). Seismologien er fremdeles i sentrum og med seismisk verifikasjon som en nøkkellaktivitet på oppdrag fra norske myndigheter, men det arbeides også bredt mot mange andre kunder, inkludert petroleumsindustrien. En stor del av omsetningen er mot utlandet, og i dag kommer også de fleste av NORSARs forskere fra andre land.

NORSAR har alltid hatt et nært samarbeid med akademia, inkludert mange doktorgrader og en gjensidig utveksling av Professor II-stillinger. På 1970- og 80-tallet, innen universitetene selv hadde fått bygd opp sin kapasitet, hadde NORSAR også mange hovedfagsstudenter fra Universitetet i Oslo (UiO) som ble veiledet der. Dette var også en periode da universitetene utviklet seg meget raskt, og spesielt innen geofagene siden disse var knyttet så nært til petroleumssektoren, med et stort behov for å utdanne nye kandidater. Til slutt (men altfor sent etter noens oppfatning) førte dette også til at fastjords-geofysikerne slo seg sammen med andre geofysikere og med geologer i felles institutter på begynnelsen av 2000-tallet både i Bergen og i Oslo.

Ved UiB førte denne utviklingen til en sterk vekst både innen geologi og geofysikk, det siste knyttet til Jordskjelvstasjonen. Dette skulle komme til å omfatte marin geofysikk i sin alminnelighet, konsentrert om men ikke begrenset til Nord-Atlanteren og nærliggende grunnhav (Figur 3.7). Jordskorpe-undersøkelser ved hjelp av landseismikk begynte imidlertid tidlig på 1960-tallet, inkludert en stor ARPA-finansiert studie i 1965 knyttet til NORSAR-forberedelsene. Selv om det etter hvert ble flere slike landbaserte undersøkelser var det likevel de marine studiene som ble mest omfattende ved UiB, men det er viktig å presisere at disse i stor grad var vitenskapelige og på en større skala, og ofte bare indirekte knyttet til oljerelaterte problemstillinger. Geodynamiske problemstillinger har etter hvert også kommet sterkere inn, kombinert med



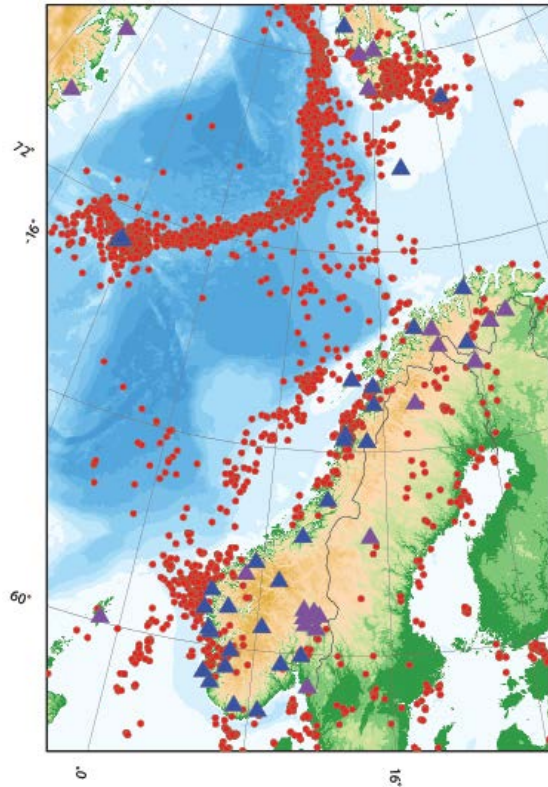
Figur 3.7: Utvikling av Nord-Atlanteren fra 55 til 19 millioner år siden. Fra Eldholm et al. (2002).

kvantitative tilnærminger.

Jordskjelvovervåkingen opplevde utover på 1970-tallet en viktig utvikling ved at det ble mer interesse for regionale studier i tillegg til de globale som det hadde vært mest av tidligere, med oppbygging av bedre nasjonale nettverk. På NORSAR kom dette inn ved at et mindre nettverk kom i drift i Sør-Norge i 1980-83, men det viktigste var at Vest-Norge fikk et nytt nettverk i 1984, drevet av UiB, samme år som den regionale NORESS-arrayen kom i drift (se Figur reffig:nordsar). I 1987 kom et tilsvarende system i gang i Karasjok, og i 1993 hadde vi endelig et nasjonalt nettverk, i samarbeid mellom UiB og NORSAR og støttet av oljeindustrien (Figur 3.8). Etablering av Norsk Nasjonalt Seismisk Nettverk (NNSN) som et landsdekkende nettverk av seismiske stasjoner utgjør en milepæl i overvåkingen av seismisk aktivitet i Norge og nærliggende havområder inklusive de arktiske øygruppene Svalbard, Jan Mayen, Bjørnøya og Hopen. I dag drives NNSN av Institutt for geovitenskap ved UiB i samarbeid med NORSAR med støtte fra UiB og Norsk Olje og Gass.

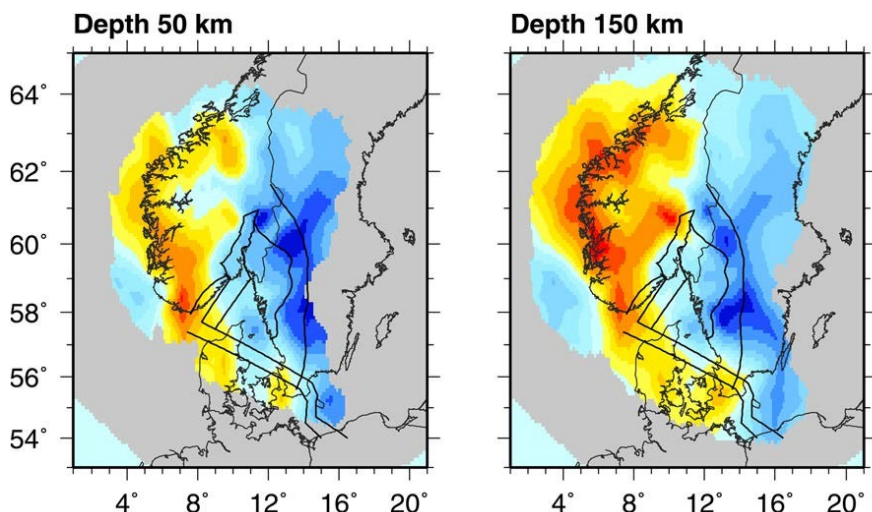
Ved UiO har fastjords-geofysikken alltid vært vesentlig mindre enn ved UiB (av grunner som er berørt ovenfor), men har også her hatt store fordeler av å bli integrert med geologi-miljøet som siden midt på 1970-tallet har hatt en sterk gruppe innen marin geofysikk. I utgangspunktet var Oslo-miljøene uten driftsmessige oppgaver,

Figur 3.8: Det norske nasjonale seismologiske nettverket (NNSN) slik det ser ut i 2015 (blå triangler), med 33 stasjoner (23 bredbånd og 10 kortperiodiske) drevet av UiB og 16 (bare bredbånd) drevet av NORSAR. Med unntak av tre stasjoner på Jan Mayen og en i Barentsburg opererer alle kontinuerlig og i sann tid. De røde symbolene er jordskjelv, 1990-2015, med styrke over 2.5 på Richters skala. Takk til Lars Ottemöller.



men i dag er dette av mindre betydning siden det nå er overveldende mengder data tilgjengelig for alle; seismologien har lenge ligget langt framme med hensyn til nasjonal og internasjonal data-utveksling. UiO har også kommet sterkere inn i senere år på geodynamikk, med mer storskala problemstillinger, og de har også deltatt aktivt i store tomografisk orienterte prosjekter (Figur 3.9).

En viktig side ved utviklingen innen dette fagområdet de siste par tiårene har vært et økende samarbeid også mellom NORSAR, Norges Geologiske Undersøkelse og Kartverket, og mellom disse og universitetene, knyttet til spesielle prosjekter (det skal nevnes at NORSAR også lenge har samarbeidet nært med Norges Geotekniske Institutt). De viktigste av disse har vært NEONOR (Neotectonics in Norway) på slutten av 1990-tallet og NEONOR<sub>2</sub>, som ble avsluttet i 2016 (se Figur 3.10), og

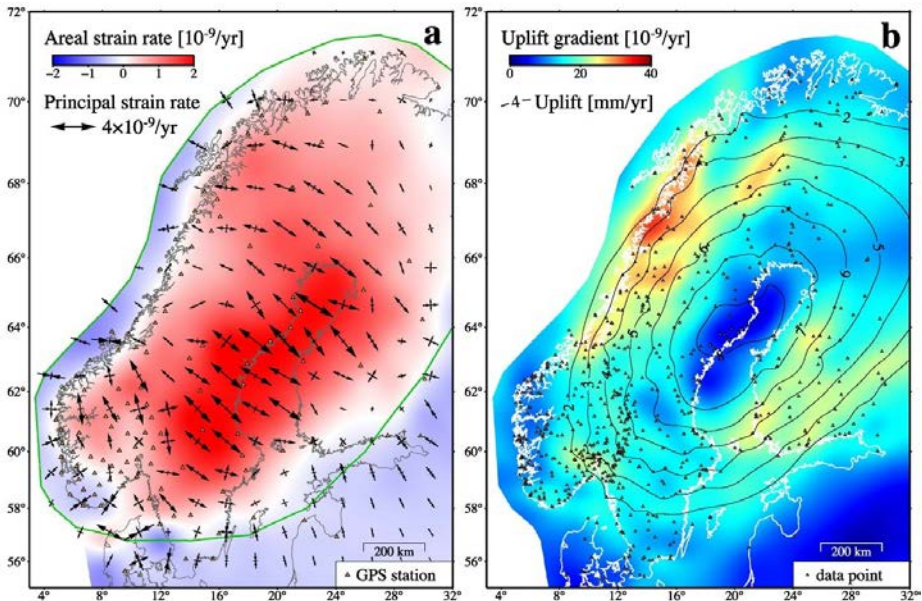


Figur 3.9: Tomografisk modell for variasjoner i P-bølge hastigheter ( $\pm 2.5\%$ ) i dyp av 50 og 150 km, basert på data fra temporære og permanente seismiske stasjoner (utdrag fra Figur 4 i Kolstrup et al., 2015).

som representerer et samarbeid mellom seismologi, geologi og geodesi, knyttet til et spesielt interessant område i Nord-Norge hvor det blir observert relativt sterke jordskorpebevegelser.

Det har over lang tid vært mange tilsvarende midlertidige datainnsamlingsprosjekter som ikke kan nevnes her, både på land og til havs (f. eks. havbunnsseismometre og registreringer på isflak), og mange av disse har også på en god måte kombinert passiv og aktiv datainnsamling. Mens nordområdene allerede er nevnt kan det legges til her at (den norske) Bouvetøya også har hatt seismisk monitorering (1978–79), og at Antarktis nå også har en norsk jordskjelvstasjon (Troll).

Når det gjelder samspillet mellom faggruppen og NGF er det ingen grunn til å legge skjul på at dette aldri har vært spesielt sterkt, stort sett bestående av sporadiske deltagelser på årsmøtene, og noen foredrag ved samme anledning. Det var kanskje noe mer aktivt på 1970-tallet da seismologer på NORSAR og ved UiB så det som et mål å organisere en faggruppe og å definere denne innen rammen av NGF. En viktig del av formålet her var å kunne velge sin egen fagrepresentant til IASPEI og til European



Figur 3.10: Overflatedeformasjon i Fennoskandia, med horisontale forskyvningsrater (strain) til venstre og oppløftsgradienter til høyre, basert på nye nasjonale nettverk av GPS-stasjoner. Fra Keiding et al. (2015).

Seismological Commission (ESC), som er en organisasjon som lenge var viktig fordi den i etterkrigstiden også hadde med seg den såkalte østblokken. I dag kommer til og med IASPEIs generalsekretær fra Norge (Johannes Schweitzer, NORSAR). Hva denne ustabile tilknytningen til NGF kommer av er vanskelig å si, men en grunn kan nok være at seismologi har vært et lite fagområde innen NGF i kombinasjon med at medlemmene primært har vært internasjonal orientert.

## Hvilke vinder blåser nå?

Når en leser avsnittene ovenfor kan en fort få det inntrykk at alle piler peker framover og oppover og at framtidsutsiktene er tilsvarende lyse. Situasjonen for fagområdet er nok mer komplisert enn som så siden bare de slagene som er vunnet er blitt nevnt. Litt kaldt vann i blodet kan derfor være på sin plass nå:

- Norge er det eneste landet i Europa (av dem vi naturlig kan sammenligne oss med) som ikke har et nasjonalt seismologisk nettverk direkte finansiert av staten, selv om store deler av kostnadene har vært dekket av UiB, etter hvert med stadig større deltagelse fra industrien. Den langsiktigheten som en slik overvåkning krever er dermed ikke på plass.
- Seismologi er et fagområde som ikke naturlig kommer inn på noen av programmene i Norges Forskningsråd, og da gjenstår bare de frie programmene som i utgangspunktet har et meget trangt nåløye, petroleumsrelaterte programmer, og infrastruktur-programmer. Det nye EU-programmet Horizon2020 har heller ikke noe eget budsjett for seismologisk forskning, inkludert jordskjelvrisiko.
- Jordskjelvrisiko var tidligere et viktig FoU-område for NORSAR, knyttet til offshore oljeutvinning, men er nå nesten helt borte. Det finnes likevel nå en Eurocode 8 (tilsvarende en Norsk Standard) for sikring mot jordskjelv også i Norge, gjeldende for viktige bygninger på land, men en nødvendig oppgradering av dette regelverket har det ikke mulig å få støtte for hverken i industrien eller hos ansvarlige myndigheter, selv om jordskjelvrisiko i 2015 ble tatt inn i det Nasjonale risikobilde fra Direktoratet for Sikkerhet og Beredskap.

En positiv utvikling av stor betydning er likevel at Horizon2020 nå er godkjent et infrastruktur-program (InfraDev) som heter «European Plate Observing System – EPOS» med en støtte i implementeringsfasen på 18 millioner Euro. EPOS-IP startet i oktober 2015 og vil vare i fire år med deltakelse fra 21 europeiske land og med 46 partner-institusjoner. UiB koordinerer den norske deltagelsen i dette prosjektet.

Innen den samme EPOS-rammen godkjente også Norges Forskningsråd i 2015 en nasjonal søknad med et budsjett på 45 millioner NOK. Samarbeidet går gjennom «Norwegian National EPOS Consortium» der data fra ulike grener av den faste jords fysikk vil integreres til en samlet e-infrastruktur der en videre utbygging i arktiske områder vil bli spesielt viktig. Dette infrastrukturprogrammet kommer til å prege de neste 30-40 årene innenfor forskning relatert til den faste jords fysikk, og finansieringen vil utgjøre et betydelig bidrag til fagområdet.

Det er også viktig å slå fast at et av fundamentene for norsk seismologi fremdeles vil være monitoreringen av den fullstendige prøvestansavtalen, med langsiktig

finansiering fra UD. Selv om det fra år til år kjempes om disse midlene også, er dette likevel en viktig plattform å stå på for å nå fram der forskningsmidler måtte være innen rekkevidde, også internasjonalt. Her kommer også universitetene i Bergen og Oslo inn som en annen viktig og stabiliserende komponent, selv om det der også er blitt slik at det må kjempes om alle budsjetter, spesielt når noen forlater en stilling.

Det er likevel ikke en slik pro- og kontra-liste som blir det avgjørende for hvordan det vil gå med dette fagområdet i framtiden, siden dette først og fremst vil styres av utviklingen og av de økonomiske og kulturpolitiske konjunktorene, som ingen formår å kjenne. Det vi imidlertid vet med sikkerhet er at det vil være avgjørende viktig også her at det står fram enkeltpersoner som er sterke og dyktige nok til å drive fram sine idéer og overbevise organisasjoner og myndigheter om at de har noe som en bør satse på. Men det hjelper også med politikere som er positive til forskning!

*Forfatteren takker for gode og konstruktive kommentarer fra Conrad Lindholm, Jens Havskov, Kuvvet Atakan, Olav Eldholm, Valerie Maupin, Lars Ottemöller, Svein Mykkeltveit, Tormod Kværna og Johannes Schweitzer.*

## Referanser

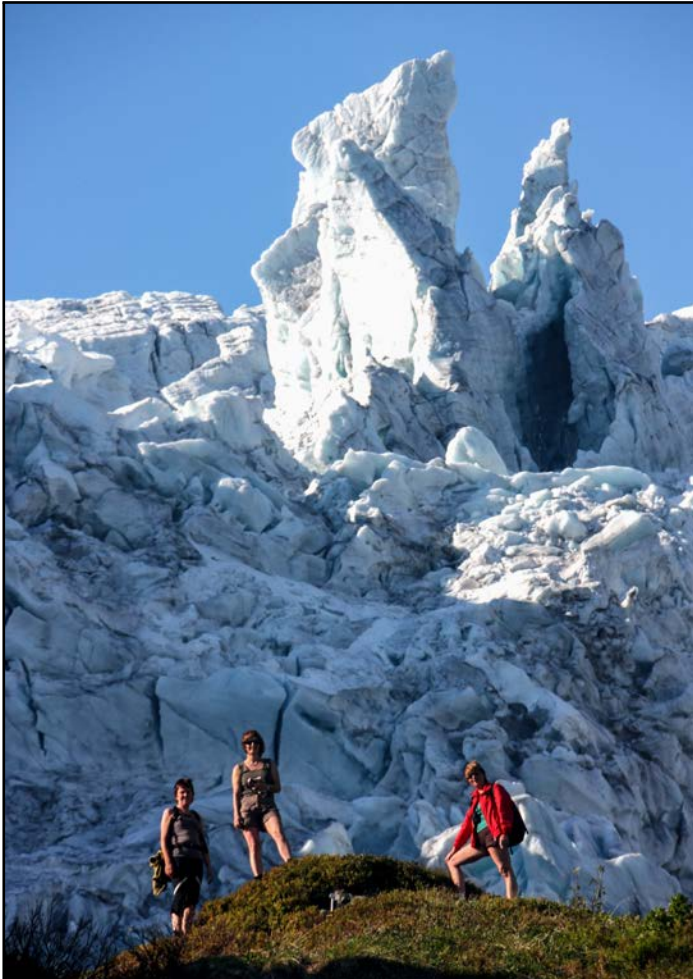
- Bungum, H., Pettenati, F., Schweitzer, J., Sirovich, L., Faleide, J.I. (2009). *The MS 5.4 October 23, 1904, Oslofjord earthquake: Reanalysis based on macroseismic and instrumental data*. Bulletin of the Seismological Society of America. 99(5), 2836–2854, doi: 10.1785/0120080357 .
- Eldholm O., Tsikalas, F., Faleide, J.I. (2002). *En mangfoldig kontinentalmargin*. Geo 5(4), 12–16.
- Isacks, B., Oliver, J., Sykes, L.R. (1968). *Seismology and the new global tectonics*. Journal of Geophysical Research 75(18), 5855–5899
- Keiding, M., Kreemer, C., Lindholm, C.D., Gradmann, S., Olesen, O., Kierulf, H.P. (2015). *A comparison of strain rates and seismicity for Fennoscandia: depth dependency of deformation from glacial isostatic adjustment*. Geophysical Journal International 202, 1021–1028, doi: 10.1093/gji/ggv207 .
- Kolderup, C.F. (1913). *Norges jordskjælv med særlig hensyn til deres utbredelse i rum og tid*. Bergen Museums Aarbog, 8.

- Kolstrup, M.L., Hung, S.-H., Maupin, V. (2015). *Multiscale, finite-frequency P and S tomography of the upper mantle in the southwestern Fennoscandian Shield*. *Geophysical Journal International* 202, 190–218, doi: 10.1093/gji/ggv130 .
- Musson, R.M.W. (2013). *A history of British seismology*. *Bulletin of Earthquake Engineering* 11, 715–61, doi: 10.1007/s10518-013-9444-5 .
- Rebeur-Paschwitz, Ernst von (1889). *The earthquake of Tokio, April 18, 1889*. *Nature* 40, 294–295.
- Reusch, H. (1888). *Jordskjælv i Norge 1887*. Christiania Videnskabs-Selskabs Forhandling 1888, No. 8.
- Rothé, J.-P. (1981). *Fifty years of history of the International Association of Seismology (1901–1951)*. *Bulletin of the Seismological Society of America* 71(3), 905–923.
- Sellevoll, M.A., Sundvor, E. (2001). *Jordskjælvstasjonen – Institutt for den faste jords fysikk gjennom ett århundre*. Universitetet i Bergen, ISBN 82-92220-03-8, 250 pp.
- Thomassen, T.C. (1888). *Berichte über die, wesentlich seit 1834, in Norwegen eingetroffen Erdbeben*. Bergens Museum Aarsberetning, No.4, 52 pp.



# Kapittel 4 — Glasiologi

Av OLAV ORHEIM



Forrige side:

Fra fronten av Flatbreen, der den styrter flere hundrede meter ned til Supphelledalen i Fjærland. Foto: Gaute Dvergsdal Bøyum.

## Hva betyr glasiologi?

På norsk brukes begrepet synonymt med studier av isbreer. Internasjonalt har det en mer omfattende betydning, nemlig studiet av snø og is. International Glaciological Society (IGS), som er «fagforeningen» for glasiologer har derfor blant sine 1000 medlemmer mange som er havisforskere og mange som arbeider med snøskred, selv om den største gruppen er breforskere. I det følgende bruker jeg ordet i den norske betydningen.

## Fagets stilling ved opprettelsen av foreningen.

Da Norsk Geofysisk Forening ble stiftet i 1917 var begrepet glasiologi knapt i bruk i Norge. Men det betyr ikke at det ikke foregikk breundersøkelser. I Norge hadde forskere med forskjellig fagbakgrunn skrevet om en rekke fenomener knyttet til breene, ikke minst breendringer over forskjellige tidsskalaer. Eksempelvis refererte geologen Johan Rekdal i over tre tiår fra 1900 fra årlige målinger av fremrykk og tilbakegang av flere breer i Jotunheimen og på Vestlandet. Avstanden ble målt fra markante steiner der han laget merker og satt opp varder. Botanikeren Knut Fægri tok doktorgrad i 1934 på endringene til utløpere fra Jostedalbreen, (Nigardsbreen, Aabrekkebreen (Brenndalsbreen) og Bøyabreen) gjennom 200 år, hydrologen Olaf Rogstad beregnet i 1941 Jostedalbreens tilbakegang ut fra avrenningen, geografen Wærner Werenskiöld og geologen Adolf Hoel sto for forskjellige breundersøkelser i Jotunheim (og andre steder) på 1930-tallet, og paleontologen Anatol Heinz skrev i 1953 om breers tilbakegang på Svalbard.

Heller ikke internasjonalt var glasiologi fremtredende som egen disiplin. Den internasjonale fagorganisasjonen for geofysikk, IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) ble opprettet i 1919, og ingen av de seks faggruppene under geofysikk hadde da snø eller is i navnet. Slike studier ble klassifisert til å høre til i underavdelinger av hydrologi. Først i 2007 fikk IUGG en ny, syvende, faggruppe som skulle konsentrere seg om disse naturelementene, med navnet International Association of Cryospheric Sciences (IACS).

75-års beretningen for NGF fulgte fagdisiplinene slik de var i IUGG, og derfor er det knapt et ord om glasiologi i den oversikten. Det er derfor rimelig nå å se på glasiologiens plass i norsk geofysikk gjennom hele foreningens levetid. En slik oversikt

## GLASIOLOGI



(a)



(b)



(c)

Figur 4.1: Bildet øverst (a) er fra 1899. Johan Rekstad målte da 77 m til Supphellebreen, og satte kryss nederst på den store sten. Bildet nederst til venstre (b) er av samme sten, fotografert 25 oktober 2016, foto Pål Gran Kielland, Norsk Bremuseum. Avstanden var da ca. 400 m til brefronten. Korset ved personens høyre kne er lett å se, selv om det til dels har mose på! I bildet nederst til høyre (c) peker fingeren i korsets venstre arm.



Figur 4.2: Sommeren 1934 graver Harald Ulrik Sverdrup (til venstre) og Hans W:son Ahlmann på toppen av Fjortende Julibreen for å få plassert instrumenter til å bestemme varmebudsjettet i snølaget. Foto: Norsk Polarinstitutt

synes også relevant siden vårt land hører til de få som har betydelig bredekke, og er blant dem med de lengste måleserier over breendringer.

## Høydepunkter og nedturer gjennom 100 år.

Omtrent 1% av fastland-Norges areal, og  $\frac{2}{3}$  av Svalbards, er dekket av breer. Det er lite av breer i tett-bebodde strøk av Europa, så derfor kom det mange utenlandske forskere og oppdagelsesreisende som skrev om breene våre. Adolf Hoel og Johannes Norviks «Glaciological bibliography of Norway» (1962) inneholder således godt over 1000 referanser knyttet til observasjoner fra Norge og våre arktiske områder. Ikke alle har med forskning å gjøre – forfatterne valgte å inkludere referanser til alle

artikler eldre enn 1870 som hadde informasjon om snø, is og breer. Etter 1870 var kravet at vitenskapelig relevans var nødvendig, slik at beretninger om brevandring, isklatring o.l. ikke lenger ble inkludert.

De over 1000 referansene demonstrerer at breene i Norge og på Svalbard interesserte mange, og som nevnt var det forskere fra mange forskjellige fagfelt. En som imidlertid hadde sin faglige hovedfokus innen glasiologiske studier var Hans W:son Ahlmann. Han var professor ved Universitetet i Stockholm, men allikevel kan betraktes som «far» til norsk glasiologi. Han var en sann Norges-venn som gjennomførte mange studier i vårt land, hadde norsk kone og ble Sveriges ambassadør i Oslo etter 2. Verdenskrig. Han og den verdensledende oseanografen Harald Ulrik Sverdrup var gode venner etter at de sammen gjennomførte feltundersøkelser av breer på Svalbard i 1934, og Ahlmanns innflytelse er tydelig når Norge på slutten av 1940-årene fikk sin første rendyrkede glasiolog, Olav Liestøl. Han var trolig den første i verden som ble ansatt med den tittelen. Han hadde hovedstilling ved Norsk Polarinstitut, der Sverdrup ble direktør fra 1949. Liestøl ble engasjert av Universitetet i Oslo til å forelese i det «nye» faget glasiologi, og i tretti år var han veileder for alle



Figur 4.3: Iskjerner fra breer gir informasjon om fortidens klima mm. Her borer Olav Liestøl for håndmakt – før de mekaniserte borene var det gjerne mye fysisk arbeid! Foto: privat

i Norge som tok hovedfag i glasiologi. Liestøl (1967) dekker det meste av arbeidet han gjennomførte på Storbreen i Jotunheimen.

Mens de fleste tidlige bremålinger observerte endringen i brefrontens plassering understreket Ahlmann betydningen av å måle breens massebalanse, dvs. hvor mye den la på seg om vinteren og hvor mye masse som smeltet vekk den påfølgende sommeren. I 1949 startet Olav Liestøl slike målinger på Storbreen i Jotunheimen, med faglig oppmuntring fra bl.a. Wærenskiold ved Universitet i Oslo. Selv om Liestøls hovedstilling var knyttet til studier av breene på Svalbard, leverte han også grunnleggende forskningsbidrag knyttet til breer på fastlandet. Et eksempel gjaldt forståelsen av bredemte sjøer og flomkatastrofer som de kunne forårsake, et spørsmål viktig for flere lokalsamfunn, særlig på Vestlandet.

Ahlmann påvirket også vitenskapsprogrammet til den norsk-britisk-svenske antarktisk-ekspedisjonen 1949–52, som foregikk ut fra basen Maudheim i Dronning Maud Land. Norge sto for ledelse og hovedfinansiering av ekspedisjonen, mens glasiologen Valter Schytt fra Sverige var nestleder. Det glasiologiske programmet var grensesprengende, og alle tre glasiologene som var med ble senere internasjonale autoriteter. De par hyllemeterne med monografier fra ekspedisjonen ble utgitt i Norge, så det kom en del kredit også til vårt land, selv om dessverre ingen norske forskere deltok i glasiologiarbeidet.

Den samfunnsmessige betydningen av glasiologi økte på 1960-tallet, da kraftutbygging beveget seg inn i bredekkete områder. Nå kom det betydelige midler til massebalansemålinger av mange breer, og også til å bestemme sediment-transporten fra disse. Ingeniørene som skulle beregne utbyggingen hadde to problemstillinger de trengte svar på. Den ene var om de målingene som ble gjort av vannføringen i elvene var representative for normalår. I områder med stort bredekk, slik som i utbyggingen av vassdrag inn mot Jostedalen, kunne målt vannføring avvike mye fra det normale dersom målingene skjedde i år der breen mistet mye masse. Det måtte derfor måles over flere år for å dimensjonere dammer mest mulig riktig. Den andre var å kartlegge sedimentene som kom med breelvene, både for å vurdere omfanget av finpartikler som slet på turbinskovlene, og beregne hvor raskt løsmasser kunne fylle opp basseng og dammer. Det var store økonomiske verdier knyttet til å få slik kunnskap så nøyaktig som mulig, og i den sammenheng var lønn til noen studenter som målte på breen hele sommeren en liten faktor! Så antall hovedfagstudenter ble ferdoblet i seksti-årene, fra å ha bare vært ca. en per tiår før det. NVE fikk opprettet et



Figur 4.4: Olav Liestøl og assistent F. Kristiansen tar en matpause fra målinger på Finsterwalderbreen på Svalbard, sommeren 1956. Foto: Norsk Polarinstitutt

brekontor under ledelse av dynamiske Gunnar Østrem, som i en periode også hadde professorstilling i glasiologi ved Universitetet i Stockholm. I disse årene var NVE den norske institusjonen med flest glasiologer i arbeid. Østrem ble den internasjonale autoriteten på hvordan slike massebalansemålinger skulle gjøres, og skrev den praktiske læreboken i faget.

Siden de største breene finnes i polarområdene var glasiologi et viktig arbeidsfelt for Norsk Polarinstitutt. Men gjennom 1970- og 1980-årene hadde NP fortsatt bare to faste ansatte i faget, Liestøl og jeg, som på 1980-tallet ble prof. II henholdsvis ved Universitetet i Oslo og i Bergen.

I årene deretter økte interessen sterkt for breforskningen som bidrag til både å forstå klimaendringer i fortid, og for å lage prognoser på utviklingen videre, ikke minst fremtidige endringer i havnivå. Etterhvert kom det en hovedstilling i glasiologi ved Universitetet i Oslo, som innehas nå av professor Jon Ove M. Hagen. På Institutt



Figur 4.5: Valter Schytt analyserte i 1951 isprøver fra kjerneboringer tatt gjennom isbremmen under Maudheimstasjonen. Foto Norsk Polarinstitutt



for geovitenskap ved Universitetet i Bergen har professor Atle Nesje siden 1997 jobbet i skjæringsfeltet mellom glasiologi og kvartærgeologi. Han har blant annet bidratt med frontmålinger av Briksdalsbreen og Midtdalsbreen, en nordlig utløper fra Hardangerjøkulen. Antall masterstudenter og PhD-kandidater har samtidig økt kraftig, særlig gjennom forskningsprosjekter finansiert fra Norges forskningsråd og fra EUs forskningsfond.

Da Norsk Geofysisk Forening startet opp var Norge et land der mye av breforskningen ble utført av tilreisende europeiske forskere. Nå er situasjonen motsatt, det er mange norske glasiologer som arbeider internasjonalt, og vi er blitt en relativt stor glasiologi-nasjon. Opptelling av medlemmer i IGS for 2015 viser at av 1088 medlemmer i alt var 61 bosatt i Norge, 21 i Danmark og 11 i Sverige. For femti år siden var norske glasiologer i mindretall i Skandinavia. IGS har forøvrig hatt både norsk president (Bjørn Wold fra NVE) og visepresident (undertegnede).

Et tiltak som har bidratt til å gjøre glasiologien kjent blant menigmann er Norsk Bremuseum & Ulltveit-Moe senter for klimaviten i Fjærland i Sogn. Museet er en privat stiftelse opprettet av Den Norske Turistforening, International Glaciological



Figur 4.6: Gunnar Østrem ved siden av stake for massebalansemålinger. Å måle endringer i snø- og ismengde i forhold til staker som står fast ned i isen er teknologi som fortsatt brukes, selv om vi i dag også får annen informasjon fra bl.a. satellitter. Foto: NVE

Society, Norges vassdrags- og energidirektorat, Norsk Polarinstitutt, Høgskulen på Vestlandet, Universitetet i Bergen og Universitetet i Oslo for å samle, skape og spre kunnskap om breer og klima. Museet dekker både naturvitenskapelige og kulturhistoriske fagfelt. Tilreisende setter åpenbart pris på å lære om våre breer, for siden åpningen i 1991 har museet hatt 1,5 millioner besøkende. Det fungerer også som informasjonssenter for Jostedalbreen Nasjonalpark, og har i dag informasjon om breer og klima på 13 forskjellige språk. Det går hvert år med økonomisk overskudd uten et øre i offentlig driftstøtte. Fra 2017 er Atle Nesje styreleder i Bremuseet.

## Det Internasjonale Polaråret ga betydelig løft

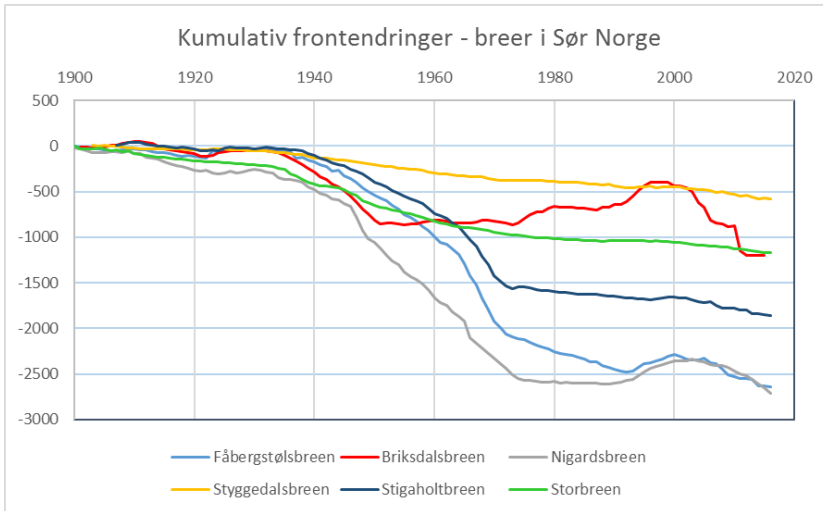
Det internasjonale polaråret (IPY) foregikk i 2007-2008 og ble altså lagt til 50 år etter det Internasjonale Geofysiske år (IGY) i 1957-58. Det sier noe om den økte interes-



Figur 4.7: To bremålere på vei mellom massebalansestaker øverst på Nigardsbreen i 1962, for mer enn en generasjon siden. Bildet illustrerer det som da var karakteristisk for de fleste glasiologer – de måtte kunne gå fysiske krevende turer og helst like det, for det var som oftest langt fra breen til vei eller tog. Nærmest går Randi Pytte som på midten av 1960-tallet var den første kvinne som tok glasiologi hovedfag i vårt land. Hun hadde hele sin yrkeskarriere i NVE, men det skulle gå enda tre-fire tiår før vi fikk omtrent like mange kvinnelige som mannlige glasiologer. I dag ledes flere store norske forskningsprosjekter innen glasiologi av kvinner. Foto: Olav Dybvadskog

sen for polarforskning at dette «geofysiske året» nå fokuserte helt på det polare, og innen det brede spekteret av programmer var det ikke minst stor innsats innenfor glasiologien. I Norge ble IPY-finansieringen lagt til Norges forskningsråd, som bevilget henimot 300 millioner kr. til denne forskningen. Av de 28 forskningsprosjektene som fikk bevilgning var det to store som involverte glasiologi, henholdsvis i Arktis (Svalbard og fastlands-Norge) og i Antarktis, ledet av Jon Ove Hagen fra UiO og av Jan-Gunnar Winther fra NP. Tilsammen involverte disse to prosjektene flere titalls forskere fra ca. ti nasjoner. De bidro også sterkt til videre rekruttering i faget med tilsammen 2 doktorgradsstipendiater og 3 postdoktorgrad-stipendiater.

## GLASIOLOGI



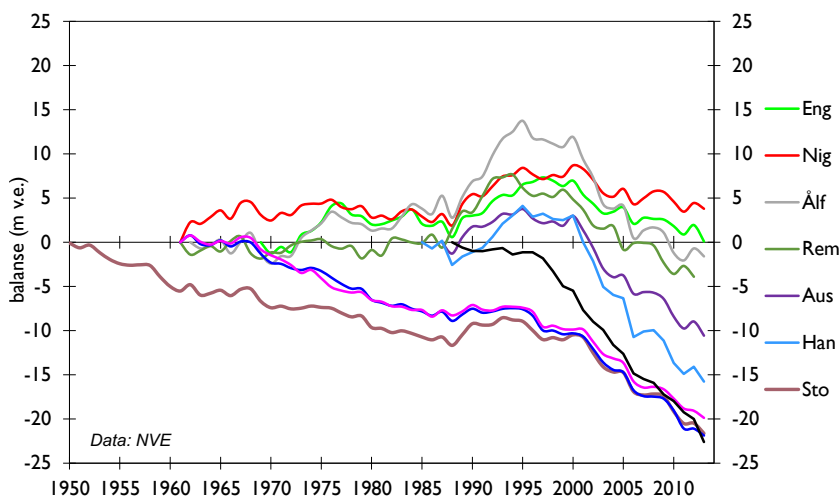
Figur 4.8: De målte endringene i breenes utstrekning integrerer de årlige variasjonene i massebalanse over flere år, og gir et utjevnet klimasignal. Her ser vi hvordan fronten har endret seg for noen utvalgte norske breer fra 1900 og frem til i dag. Noen snørike vintre på 1990-tallet gjorde at enkelte små breer med kort reaksjonstid gikk frem i noen år. Hovedbildet er allikevel en kraftig tilbakegang, forårsaket både av naturlige og menneskeskapte klimaendringer. Figuren er satt sammen av Miriam Jackson i NVE med data fra NVEs database, se: [www.nve.no http://glacier.nve.no/viewer/CI/no/](http://glacier.nve.no/viewer/CI/no/).

Den økte betydningen av glasiologiens stilling etter IPY kan illustreres ved at NordForsk gjennom sitt program Toppforskningsinitiativet har finansiert et fem-årig Nordisk Center of Excellence i glasiologi i perioden 2011–2016. Det hadde 18 nordiske partnere, Universiteter og forskningsinstitutter i glasiologi, med fokus på breene rundt Nord-Atlanteren (Grønland, Island, Skandinavia og Svalbard).

### Glasiologiens stilling ved 100-års jubileet.

De største gruppene av breforskere i Norge finner vi i dag ved Universitetet i Oslo, Universitetet i Bergen inkludert Bjerknessenteret, NVE og Norsk Polarinstitut.

Ved Universitetet i Oslo, Institutt for geofag, er det i 2016 åtte glasiologer, tre i faste vitenskapelige stillinger og fem i midlertidige forsker og postdoktor-stillinger.



Figur 4.9: Her vises den kumulative endringen i massebalanse for ti norske breer, fra Andreassen m. fl. (2016). Storbreen har den lengste serien, mens NVE startet bremålinger på flere breer på begynnelsen av 60-tallet. Den vertikale skalaen viser endring i masse gitt i m vann som gjennomsnitt for hele breen. Som det fremgår har de aller fleste breene mistet masse gjennom perioden, selv om de fleste «la på seg» i flere år frem til rundt 1995. Det er breene i Jotunheimen (Storbreen, Gråsubreen, Hellstugubreen) og Langfjordjøkelen i Finnmark som har mistet mest masse i måleperioden. For breene på Vestlandet og Engabreen i Nordland har det også vært massetap gjennom perioden, men her er endringene mindre, og Nigardsbreen har fortsatt større masse nå enn da målingene startet.

Antallet masterstudenter og PhD-kandidater varierer noe fra år til år, men ligger årlig rundt 5 på master og 5 på PhD. Hovedtema for forskningen er breenes respons på dagens klimaendringer, feltbaserte prosess-studier og fjernanalyse. Tidligere var det mye fokus på breenes utforming av landskapet koblet til isavsmelting og kvartærgeologi i Norge. Etter hvert er det blitt mer fokus på breenes massebalanse både knyttet til breer i Norge som hydrologisk ressurs og breenes respons på klimaendringer og deres bidrag til globale havnivåendringer. Både PhD- og masteroppgaver innen glasiologi utføres ofte i samarbeid med eksterne institusjoner, særlig bør nevnes NVE og Norsk Polarinstitutt. De feltbaserte undersøkelsene har ofte foregått på Svalbard, men også på breer i Norge og i Antarktis. Breforskningen ved instituttet fikk et løft under Polaråret, IPY, da det ble startet større undersøkelser av massebalanse og dynamikk på



Figur 4.10: Norsk Bremuseum & Ulltveit-Moe senter for klimaviten i Fjærland har vunnet mange priser for sin arkitektur. Det ble tegnet av Sverre Fehn. Alle de norske fagmiljøene, og mange internasjonale, bidro til å lage de spennende utstillingene. Foto: Gaute Dvergsdal Bøyum

Austfonna på Svalbard i samarbeid med Norsk Polarinstitutt. Austfonna ble også valgt av European Space Agency (ESA) til å være et kalibreringsområde for satellittmålinger med CryoSat, en radarbasert satellitt designet for å måle volumendringer (høydeendringer) på breer og havis. De globale brestudiene utføres med ulike typer satellittdata og instituttet har utviklet god kompetanse på fjernmåling. Fra 2014 har instituttet hatt et femårig ERC (European Research Advanced Grant) kalt «Global Glacier Mass Continuity (ICEMASS)» Her er det fokus på å bruke satellittdata til å måle volumendringer og endringer i dynamikken på breer og iskapper globalt, men hovedsakelig utenom de store isdekkene i Antarktis og Grønland.

Ved Institutt for geovitenskap ved Universitet i Bergen er det 11 fast ansatte kvartær- og maringeologer som arbeider med rekonstruksjon av dagens og fortidens





Figur 4.11: Fra feltarbeid på Austfonna. Snøsondering og GPS posisjonering. Foto: Jon Ove Hagen

breer og isdekker. På instituttet er det ca. 10 PhD-kandidater som arbeider innenfor de samme temaene. Hovedtema for forskningen er bre- og klimarekonstruksjoner, breers respons på dagens og fortidens klimaendringer (paleoklima). Studiene er i hovedsak basert på stratigrafiske studier i snitt/skjæringer i løsmasser og i huler, samt studier av marine sedimenter og sedimentkjerneprøver fra innsjøer. Mye av forskningen er feltbasert og mesteparten av aktiviteten er i Skandinavia, Russland, Svalbard, på Grønland og i Nordsjøen, Atlanterhavet og Barentshavet. Ved instituttet er det nylig bygget opp en nasjonal infrastruktur for sedimentanalyser for rekonstruksjon av breer, isdekker og klimaendringer i fortiden (EARTHLAB). Av forskningsresultater fra instituttet kan nevnes at innlandsisen som dekket de vestlige delene av Skandinavia under siste istid, for mellom ca. 115.000 og 11.000 år siden, var mer dynamisk enn tidligere antatt og at brefrontene beveget seg inn og ut av fjordene og dalene flere ganger i løpet av denne perioden. Forskere fra instituttet har dessuten påvist at de



Figur 4.12: Fra feltarbeid på Austfonna. Georadar katlegger snøtykkelse. Leir på toppen av Austfonna i bakgrunnen. Foto: Jon Ove Hagen

fleste av dagens isbreer i Norge ikke har eksistert kontinuerlig siden siste istid, men at de har vært vekksmeltet for mellom ca. 8000 og 6000 år siden, en periode med gjennomsnittlig rundt to grader høyere sommertemperatur enn i dag.

På Geofysisk institutt ved Universitetet i Bergen, ved Nansen senter for miljø- og fjernmåling, Bjerknessenteret for klimaforskning og Uni Research Klima gjøres det rekonstruksjoner og modellering av dagens og tidligere tiders klima og breutbredelse. Det utføres også studier av sjøisutbredelse og -prosesser, med vekt på høye og lave breddegrader, inkludert Arktis og Antarktis.

Norsk Polarinstitutt har fem glasiologer i faste stillinger, og ytterligere fem er midlertidig engasjert på prosjekter. Instituttet er kunnskapsleverandør og rådgiver for norske myndigheter i polarområdene og flere av hovedoppgavene er knyttet til overvåking. Norsk Polarinstitutt har målt massebalansen av utvalgte breer på Svalbard så langt tilbake som til 1967. Dette er blant de lengste sammenhengende tidsserie-





Figur 4.13: Dagens frontmålinger, som her ved Briksdalsbreen høsten 2007, bruker andre metoder enn gamle dagers oppskritting og målebånd! Her brukes laser avstandsmåler fra et fastpunkt. Erling Briksdal, NVEs stedlige brefrontmåler, til høyre og Atle Nesje til venstre. Foto: Kjell Nesje

ne som finnes for høyarktiske isbreer. NPs faste måleprogram har tradisjonelt vært sentrert rundt breene ved Kongsfjorden med utgangspunkt i Sverdrupstasjonen i Ny-Ålesund, men siden 2004 har NP i samarbeid med Universitetet i Oslo gjort faste massebalansemålinger på Austfonna, Nordaustlandet, i forbindelse med kalibreringsmålinger for satellittaltimetri. Radarmålinger av istykkelse og snøakkumulasjon i kombinasjon med snøprøver og iskjerner er sentralt i NPs glasiologiske forskning både på Svalbard og i Antarktis. NP har et fryselaboratorium som gjør det mulig å analysere prøver fra og snø og is i temperaturer rundt  $-20^{\circ}\text{C}$ , noe som er nødvendig for mange typer analyser. En betydelig del av snø og iskjernestudiene på Svalbard de siste årene har fokusert på sot («black carbon») og andre typer forurensing der NPs overvåkingsprogram på Svalbard har gjort det mulig å ta regelmessige prøver på



Figur 4.14: Breforskerne studerer ofte naturfenomener av store dimensjoner. Her er Kirsty Langley og Jack Kohler fra NP på Kronebreen, Svalbard i 2009. Den er en såkalt fremstøtsbre, som etter lang «dvale»-periode øker hastigheten dramatisk, sprekker opp, og rykker langt fremover. Foto: Elvar Ørn Kjartansson/Norsk Polarinstitutt

mange forskjellige breer. Fjernmåling fra satellitt har etter hvert blitt et viktig komplement til de feltbaserte studiene både med tanke på massebalanse, breutbredelse og isdynamikk.

Troll-stasjonen i Antarktis og flystripen der har gjort det mulig å bidra og delta i store internasjonalt koordinerte prosjekt som IPY, som nevnt ovenfor, men NP har også hatt flere prosjekt på isbremmer og iskoller i kystområdene av Dronning Maud Land. I de siste åra har det vært mye fokus på studier av såkalte iskoller, grunnfaste «øyer» som omsluttet av flytende isbremmer. Målet er å finne ut om, og i så fall hvordan, iskollene påvirker innlandsisens bevegelse mot havet, noe som igjen har betydning for havnivåendringer.

NVE har fire glasiologer ansatte i faste stillinger, men flere andre jobber med snø, is og snøras. Av disse er det mange med en viss glasiologi-kunnskap som deltar



Figur 4.15: For 100 år siden kom utenlandske glasiologer til Norge for å studere breene våre. Nå skjer det motsatte. Her er Miriam Jackson fra NVEs seksjon for bre, is og snø på feltarbeid på en liten isbre i nærheten av Thana-breen, hvor NVE har opprettet massebalansemålinger. Foto: NVE

i feltarbeid eller andre brearbeider. NVE målte i 2016 massebalanse på 14 isbreer i Norge, og mange av disse måleserier dekker nå flere tiår. Gjennom årene har NVE målt massebalansen på tilsammen 43 breer, noe som utgjør 20% av hele fastland-Norges breareal; herav er seks breer blitt målt i mer enn 60 år. Målinger er gjort enten på oppdrag fra bl.a. Statkraft eller som del av forvaltningsoppdraget. I 2012 publiserte NVE en ny kartlegging av alle Norges breer. NVE har målt tykkelse på mange breer, og frontendringer for flere breer rapporteres årlig til World Glacier Monitoring Service (WGMS).

NVE blir innkalt hver gang det er jøkulhlaup, dvs. flom fra en isbre. Det er minst en slik hendelse i Norge hvert år som av og til forårsaker store materielle skader, men heldigvis er det lenge siden mennesker har vært skadet. NVE publiserte i 2014 er oversikt over alle tidligere slike hendelser i Norge og potensielle breer for jøkulhlaup.



Figur 4.16: Isprøver skjæres ut fra undersiden av breen. Tilkkomsten til brelaboratoriet og undersiden av breen er gjennom tunnel i fjellet.

NVE har også begynt å måle i Himalaya, der de opprettet massebalansemålinger i Bhutan inkludert opplæring i bremålinger av lokale hydrologer, samt snømålinger i Nepal.

Norge er alene om å ha to subglasiale laboratorier. Verdens første var under Glacier d'Argentière i Frankrike, under 60 m is. Det neste kom i Norge under Bondhusbreen, en utløper av Folgefonna, under 160 m is. Det ble bygget i forbindelse med å få tak i vannet som rant under breen til vannkraft. Adkomst og arbeidsforhold var vanskelige, men det ga spennende muligheter for glasiologiske forskning. Da Svartisen Kraftverk i Nordland skulle etableres ble det derfor bestemt å bygge et nytt subglasialt laboratorium under Engabreen. Laboratoriet stod ferdig i 1992 og har siden blitt brukt av mange glasiologer, spesielt fra utenfor Norge. Studier av subglasial drenering, glidning av breen over brebunnen, sprekkutvidelse i berggrunnen under breen, mikrobiologiske liv i og under breen og mange andre studier har blitt utført.





Figur 4.17: Som omtalt tidligere har det vært store breendringer i Norge, men de vi ser nå er trolig de raskeste i de tusenårene det har vært bosatt mennesker her til lands. Bildene over viser hvordan Briksdalsbreen har endret seg fra 2001 til 2016. Foto: Ove Brynestad (2001–2003), Kurt Erik Nesje (2004), Atle Nesje (2005–2016)

Instrumenter er plassert direkte under breen og i tunnelsystem og gjør kontinuerlig måling av subglasiale trykk, seismiske aktiviteter og subglasiale vannføring gjennom hele året. Også media som BBC og New York Times har vært der for å rapportere fra et av verdens merkeligste laboratorier.

Som det fremgår av denne oversikten har det vært stor vekst i antall norske glasiologer de senere årene, og ikke minst er det mange unge forskere i faget. Vi ser videre at glasiologene i dag er engasjert i et bredt spekter av oppgaver. Allikevel kan det hevdes at den aller viktigste innsatsen er knyttet til koblingen klima/isbreer, og ikke minst hvordan endringer i bremassene påvirker fremtidens havnivå. Her foregår det omfattende internasjonal forskning og, som IPY-innsatsen illustrerer, er norske forskere

med i fronten av mange internasjonale programmer. Mange har også vært medfattere eller bidragsyttere på andre måter til IPCC-rapportene fra FNs klimapanel. (IPCC= Intergovernmental Panel on Climate Change).

Klimapanelets prognoser for gjennomsnittlig global havnivåstigning ved utgangen av dette århundre varierer fra 0.28 til 0.98 m, der en stor usikkerhet er knyttet til hvilket framtidig utslipps-scenarier som legges til grunn. En annen stor usikkerhet er knyttet til muligheten for kollaps av deler av Vest-Antarktis pga. varmere havvann under de flytende breene, med påfølgende økt kalving av is, og derved betydelig større havnivåstigning enn det prognosene tilsier. Også spørsmålet om virkningen av mer smeltevann under ismassene på Grønland på brehastigheter i gitte klimascenarier utfordrer glasiologene når det skal lages prognoser for havnivå. Så dette er forskning av stor samfunnsmessig betydning. At glasiologien skulle bli av slik interesse for beslutningstakere og media var det neppe noen som hadde tenkt seg for 100 år siden!

*Jeg takker Jon Ove Hagen, UiO, Elisabeth Isaksson, NP, Miriam Jackson, NVE, og Atle Nesje, UiB, for kommentarer og for god informasjon om institusjonenes forskningsinnsats, og Ann Kristin Balto, NPs billedarkiv, for hjelp med illustrasjoner.*

## Referanser

- Andreassen, L. M., H. Elvehøy, B. Kjøllmoen, og R. V. Engeset, R. V. (2016). *Reanalysis of long-term series of glaciological and geodetic mass balance for 10 Norwegian glaciers*. The Cryosphere, 10: 535–552.
- Hoel A. og J. Norvik. (1962). *Glaciological Bibliography of Norway*. Norsk Polarinstitutt Skrifter, 126: 242 pp..
- Liestøl, O. (1967). *Storbreen glacier in Jotunheimen, Norway*. Norsk Polarinstitutt Skrifter, 141: 63 p.

# Kapittel 5 — Hydrologi

AV ARNE TOLLAN



Forrige side:  
Mardalsfosen fra Eikisdalen. Foto: Lindahl, Axel ca. 1880 til  
1890. Bildet er hentet fra Nasjonalbibliotekets bildesamling  
Eikesdal, Nettet, Møre og Romsdal



## Forhistorien. Tiden før 1917

Hydrologi er vitenskapen om vannet på Jorda, vannets forekomst, kretsløp og fordeling, dets fysiske og kjemiske egenskaper og vannets reaksjoner med omgivelsene. Denne definisjonen samsvarer med internasjonal standard (Unesco-WMO, 1992), men uten å regne vannets biologiske egenskaper til hydrologien. I vårt land vil nok mange også anse vannets kjemi som utenfor hydrologifaget. Hydrologi som vitenskapelig/kvantitativ disiplin kan sies å stamme fra 1670-1680-årene, da Perrault og Mariotte viste at nedbøren over Seinen og dens bielver var tilstrekkelig til å holde vannføringen i elvene ved like. I Norge, og for så vidt også i våre naboland, forsøkte naturinteresserte menn å systematisere datidens oppfatninger om vann i naturen, men uten observerte data som grunnlag. Det er interessant å notere at nordmannen Christopher Hammer i 1778 utga boken *Hydrologia Norvegica*, der han som den første i vårt land bruker ordene hydrologi og hydrolog. (etter Otnes, 1980). En god oversikt over hydrologiens historie, både i Norden og internasjonalt er for øvrig gitt av Gottschalk (2000).

Allerede i 1824–27 startet de første systematiske vannstandsmålinger i Glomma og Vormå (ved Minne), men hydrologi som arbeidsfelt ble ikke organisert før 1895, som en del av Kanalvesenet. Da var vannkraftens gjennombrudd som energikilde blitt tydelig, spekulative oppkjøp av fossefall skjøt fart, og Kanalvesenet søkte Stortinget om midler til økt kunnskap om vassdragene. Stortingsrepresentanten Gunnar Knudsen, senere Venstreformann og statsminister, uttalte da at «Jeg ved ikke hvad man vil med disse Vandmængdemaalinger. Sagen er da saa enkel som at bestemme sig for hvor store Magasinerne skal være, og bygge derefter». En naiv oppfatning av vannressursene som ikke bare fornybare, men uendelige. Stortinget bevilget likevel 10 000 kroner «Til at foretage nøiaktige Undersøgelser af Vandkraften i vaare Vasdrag ...», og fra 1895 ble den første hydrograf, Ingvar Kristensen, ansatt i Kanalvesenet.

En annen pioner i faget var cand.min. Andreas Holmsen, som tok opp studiet av stående svingninger i innsjøer, (seiches), og kartla isdannelsen i innsjøene. For disse arbeidene ble han tildelt H.K.H.Kronprinsens gullmedalje i 1900.

## En nasjonal hydrologisk tjeneste

Norsk hydrologis historie før ca. 1950 er i hovedsak også NVE, Hydrologisk avdelings historie. Norsk vannforvaltnings historie under ulike forvaltningsorganer, er grundig beskrevet (NVE, 1996 og 2012; Tollan, 2010):

- dansketidens Canaldirection 1804–1813,
- en norsk Kanal- og havneinspektør 1813–1847,
- Kanalvesenet 1847–1907,
- Vassdragsvesenet 1907–1921,
- Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, NVE 1921–1986, med senere navneendringer, til dagens
- Norges vassdrags- og energidirektorat

Ved starten i 1895 hadde avdelingen 4 ansatte, i 1917 var antallet økt til 20, og nå 100 år senere til nær 100.

Året 1917 ble et merkeår, ikke bare for Norsk Geofysisk Forening, men også for norsk vannforvaltning, med Vassdragsreguleringsloven av 1917. Den tok sikte på å sikre allmennhetens interesser ved kraftutbygging, noe som også skulle gi den unge Hydrologiske avdeling arbeidsoppgaver. Norge var altså tidlig ute (1895) med å organisere en nasjonal hydrologi-tjeneste, men våre naboland fulgte etter:

**Sverige** fra 1908: Hydrografiska Byrån. Fra 1919 en del av Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Anstalt, (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, SMHI). (SMHI, 2008). Lengste ubrutte dataserie er fra Vänern 1807.

**Finland** fra 1908: En finsk hydrologisk tjeneste ble etablert etter en stor flom i 1899. I dag er den nasjonale hydrologi-tjenesten en del av Finlands miljøinstitutt, SYKE. De første hydrologiske observasjoner stammer fra 1693 og gjelder isløsningsdatoer i Torne elv. (SYKE, 2008)

**Danmark** Det Danske Hedeselskab har utført hydrologiske målinger siden 1917. I dag gjøres mye av det praktiske arbeid av amterne og konsulentselskaper. Med hensyn til grunnvann, som naturligvis er særs viktig i Danmark, har «De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland» en sentral rolle.

**Island** fra 1947: Egen hydrologisk avdeling, Vatnamælingar, under den statlige energi-forvaltningen, Orkustofnur, (Raforkumálastjóri, 1956). Islandske hydrologer har hatt sterke bånd til norsk hydrologi.

Mange land har, som Sverige, knyttet sammen sine meteorologiske og hydrologiske tjenester. Land der grunnvann er særlig viktig for vannforsyningen, så som Danmark, kan ha nær kobling til geologiske sentrale tjenester. Et annet eksempel er *US Geological Service*, mens andre har etablert en egen hydrologisk tjeneste, så som Tyskland: *Bundesanstalt für Gewässerkunde*, og Storbritannia: *Centre for Ecology and Hydrology*.

## Hydrologien i bistandsarbeidet

Allerede før Norge i 1962 fikk en egen organisasjon for utviklingshjelp, senere Norad, var norske hydrologer aktive i bistandsarbeid, med undervisning, men oftest med praktiske råd og veiledning til nasjonale hydrologitjenester i mottakerlandene. En pioner på dette arbeidsfeltet var Jakob Otnes i Tanganyika 1955–60 og Syria 1960–61. Etter hjemkomsten ble Otnes sjef for Hydrologisk avdeling, NVE, og inspirerte mange medarbeidere til å søke oppdrag i bistandsarbeidet. I løpet av de seneste 50 årene har vel 30 av avdelingens hydrologer hatt slike oppdrag, flere med mer enn 5 års varighet. Den største innsatsen har klart vært i afrikanske land, men Asia og Latin-Amerika er godt representert. Oppdragsgivere har vært flere FN-organer (særlig FAO, UNDP og WMO), NORAD og andre nordiske bistandsorganisasjoner, og i noen grad norske konsulentfirmaer, særlig innen vannkraftsektoren. Direkte bilateralt samarbeid forekommer også, gjerne finansiert av Utenriksdepartementet.

Foruten å bidra til at norsk kompetanse og rutiner blir kjent og brukt i andre land, skjer det også en import av internasjonale spesialiteter, så som måletekniske finesser. På det personlige plan vil sikkert de fleste u-landsfarere ha hatt erfaringer og kontakter som har kommet til nytte i det hjemlige arbeid. Naturligvis har også hydrologer fra

andre norske fagmiljøer deltatt aktivt i bistand, bl.a. Vassdrags- og havnelaboratoriet, (bl.a. i Nepal), Norsk institutt for vannforskning (bl.a. i India og Kina) og Bioforsk Jord og miljø (særlig i Baltikum).

## Hydrologiens betydning for nasjonaløkonomien.

Jeg våger påstanden at vann er et element i all verdiskaping, (Tollan, 2001). Vannets økonomiske potensial ble erkjent tidlig også i vårt land, der vannkraft i form av vasshjul drev heiser og pumper i gruvene våre (Kongsberg, Røros), og både kornmøller og sagbruk. I tørre distrikter, f.eks. Lesja og Skjåk, var vanngrøfter og –renner vanlig for å gi ekstra vann i jordbruket. Man bygde renner og tekniske systemer for å frakte tømmer fra skog til sag f.eks. Kjerraten i Åsa på Ringerike og Soot-kanalen øverst i Haldenvassdraget. Annen betydelig kanalisering på 1800-tallet skjedde både i Haldenvassdraget, Skiensvassdraget og Reddalskanalen ved Grimstad.

Hydroelektrisitetens innføring skjedde ca. 1880–1900 i Norge, og kartlegging av landets kraftpotensial ble en hovedoppgave for Kanalvesenets hydrologer i denne pionertiden. Det betød selvsagt en kraftig vekst i antallet målestasjoner for vannstand og vannføring, «*vannmerker*». Også nivellering (høydemåling) av elveprofiler ble en viktig feltoppgave med tanke på vannkraftutbygging.

Vannkraften ble naturlig nok høyt prioritert i årene etter unionsoppløsningen 1905 som et middel for å sikre det selvstendige Norge nok energi og råderett over egne ressurser. Etter de svake økonomiske konjunktorene i mellomkrigsårene fikk kraftsektoren en ny ekspansjon 1950–1980, og økt behov for hydrologiske data og beregninger. I de første etterkrigsårene kom flere store vannkraftprosjekter så som Tokke-Vinje, Sira-Kvina, Eidfjord, Aurland, Rana, Auraverkene og Ulla-Førre. Konsepsjonsbehandlingen krever spesielt beregninger av den såkalte «*alminnelige lavvannsføring*». Vassdragsreguleringslovens §3 krever beregning av «den økning av vassdragets lavvannføring, som reguleringen antas å ville medføre utover den vannføring som har kunnet påregnes år om annet i 350 dager av året».

Begrepet «*alminnelig lavvannsføring*» er spesifikt for norsk lovgivning, og har gjort det nødvendig med følgende prosedyre: I dataseriene for det uregulerte vassdraget skytes ut hvert år de 15 laveste daglige observasjoner og dernest den laveste tredel av de da gjenværende årlige minstevannføringer. For å kunne bestemme alminnelig lavvannsføring i vassdrag uten vannføringsdata er det utført adskillig utviklingsarbeid

for å få sikre estimater ut fra fysiografi, klima, areal, topografi og arealdekning, bl.a. en lineær regresjonsmodell, LAVANTI (Krokli, 1988). Blant annet hydrologisk beregningsverktøy, utviklet for å kunne håndtere konsesjonsbehandling av vannkraftverk, nevnes summasjonskurver (akkumulert avløp, eller tilsig til innsjøer); *magasinkurver* som gir magasinvolument som funksjon av vannstand; og reguleringskurver som viser forholdet mellom nødvendig magasin og tilsvarende regulert vannføring. (Eie, 2013, s. 35, Otnes, 1964, s. 7).

Foruten vannkraftsektorens åpenbare rolle i norsk økonomi bør nevnes vann- og avløpsseksjonene med ca. 1600 vannverk og 600 renseanlegg. Infrastrukturen i de norske vann- og avløpsverkene har for eksempel en gjenskaffelsesverdi på 1053 mrd. kr. og et investeringsbehov på om lag 490 mrd. kr. til 2030, (kilde: Norsk Vann, 2014). Andre særlig viktige «vann-næringer» er næringsmiddelindustrien, spes. fiskeoppdrett; jordbruksproduksjonen med behov for kunstig vanning; vår kraftintensive industri. Sist, men ikke minst gir turistnæringen sysselsetting og inntekter basert bl.a. på opplevelser der vann er sentralt. Det er ingen tvil om at disse vannavhengige (og dermed hydrologi-avhengige) næringene gir nasjonale inntekter i flere-100 milliarder kronersklassen.

Hydrologiske analyser er avgjørende for å varsle flom og skred og helst forhindre skadene som følger med. Likeså kan ukontrollert forurensning av vann og vassdrag også ha alvorlige økonomiske følger. I alle de eksemplene som er nevnt ligger det tverrfaglig samarbeid om det hydrologiske, og øvrige naturvitenskapelige grunnlaget. Jordbruket støtter seg selvsagt tungt på fagmiljøene ved NMBU, og med hensyn til lokalklimastudier har UiB lange tradisjoner. Tilsvarende har vann- og avløpssektoren sin viktigste kompetansekilde ved NTNU-SINTEF.

Når det gjelder miljøvern må det fremheves at vannkvalitet også avhenger av vannmengder. F.eks. kan våtmarker rense urent vann, både ved filtrering av partikler, nedbryting av organisk materiale og forbruk av plantenæringsstoffer, som ellers kunne gi uønsket vekst nedstrøms. Våtmarker absorberer også luftens karbon, og kan dermed redusere klimaendringene, (EU, 2013, s.10). Utilstrekkelig vannføring i vassdrag som mottar kloakkutslipp, mer eller mindre renses, fører lett til miljøproblemer. Miljøproblemer knyttet til vannkraft har mange hydrologiske vinklinger, og har ledet til betydelige FoU-programmer (Eie, 2013).

1970-tallet ble på mange måter et vendepunkt for miljøvernet. Rachel Carson hadde i 1962 skrevet sin banebrytende bok «Silent Spring» om spredning av gift

i naturen. I 1972 holdt FN sin første globale miljøvernkonferanse i Stockholm, og Norge fikk et Miljøverndepartement.

Utover 1970-tallet fikk problemene med forurenset («sur») nedbør stor oppmerksomhet pga. fiskedød og kjemiske endringer i våre vassdrag. Forskingen omkring sur nedbør ble i Norge i stor grad kanalisert gjennom det såkalte SNSF-prosjektet («Sur nedbørs virkning på skog og fisk») 1972–1980, (Overrein L.N. et al. 1981). Forskingen fikk naturlig nok også hydrologiske sider, bl.a. ved overvåking av vannkjemiske endringer i felt, og utvikling av matematiske modeller som både kunne beskrive vannets passasje gjennom et nedbørfelt og de kjemiske endringene som skjer samtidig, spesielt for pH og SO<sub>4</sub> (Lundquist, 1977). Modellen er senere kalt «SNSF-modellen».

Etter SNSF-prosjektet ble NIVA (Norsk institutt for vannforskning) utsett som ett av flere Programme Coordinating Centres (- for aquatic effects) for oppfølging av de internasjonale avtalene som har blitt resultatet av Geneve-konvensjonen av 1979 (UNECE, 2004).

Hydrologiens rolle for nasjonaløkonomien har ført til en omfattende oppdragsvirksomhet både i vannfaglige institusjoner, (eks. NVE, 1996, s. 77) og et stort antall konsultantselskaper. Det er ikke minst vannkraftindustrien, men etter «miljøvekkelsen» på 1970-tallet også kommunesektoren, som er store oppdragsgivere.

## Kartlegging og overvåking

Et mål for en nasjonal hydrologisk tjeneste er selvsagt å måle/beregne landets vannressurser, både som statiske gjennomsnitt og gjennom løpende overvåking. Ettersom vann er et element i enhver fysisk verdiskaping, vil kunnskap om landets vannressurser være en absolutt forutsetning for materiell vekst. Konstruksjonen av avrenningskart for Norge er et slikt resultat. Et standardverk i så måte var den siste utgivelsen av «Hydrologiske undersøkelser i Norge» (NVE, 1958) med statistikk og avrenningskart for perioden 1900–1950. Senere er det publisert avrenningskart for normalperioden 1961–1990 (NVE, 2002). Den seneste beregning over vannmengder tilgjengelig i norske vassdrag (Pettersson, 2004) behandler perioden 1961–2002, og er senere videreført t.o.m. 2006. Våre fornybare ferskvannsressurser utgjorde i referanseperioden 1971–2000 390,5 km<sup>3</sup>/år. Fordelt jevnt på dagens norske befolkning betyr det nær 210 000 liter per person per dag. Det er langt over verdens-gjennomsnittet på ca. 16 500

l/p.dag, og langt over de ca. 250 liter vann som våre norske vannverk forsyner hver av oss med daglig.

Det er åpenbart at også andre sider av våre vannforekomster enn avrent vannmengde er interessante, både økonomisk og sosialt. Det har derfor vært viktig for vår nasjonale hydrologiske tjeneste å kartlegge bl.a. landets isbreer og innsjøer. Breenes karakteristika ble beskrevet i flere norske breatlas i perioden 1969–1988, senest og mest omfattende i 2012 og med utstrakt bruk av satellittbilder, (Andreassen og Winsvold, 2012). Totalt omfatter kartleggingen 3143 «breenheter» med et areal på 2716 km<sup>2</sup>, dvs. 0,7 % av Norges landareal. Se for øvrig kapittelet om glasiologi.

Tilsvarende har moderne teknologi, i dette tilfelle ekkolodd, gjort det mulig å produsere dybdekart for landets viktigste innsjøer i et samarbeid mellom NVE og Kartverket (Østrem m.fl., 1984). Både friluftsliv og transport på innsjøene, så vel som økonomiske forhold (magasinering, forurensningsforhold, flomdempning) har nytte av denne kartleggingen. Til glede for bl.a. quiz-arrangører er våre største innsjødyp nå godt kjent: Hornindalsvatnet 514 m, Salsvatnet 464 m og Tinnsjø 460 m.

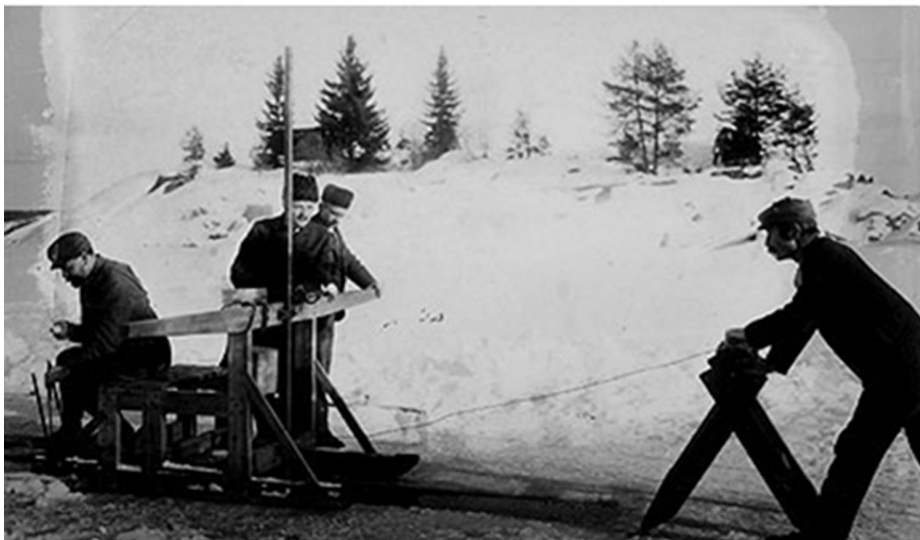
## **Stasjonsnett, måleteknikk, datainnsamling, databehandling**

Hensiktsmessig måleteknikk er åpenbart viktig for en nasjonal overvåking av vannressursene. Det vil si i særlig grad teknikk for observasjon av vannstand og vannføring. Et eksempel på tidlig kompetanseutvikling er at norskproduserte strømmålere (såkalte flygler) var tilgjengelige allerede fra 1907, produsert av firmaet Gundersen og Løken.

Det er særlig interessant at den «*relative saltfortynningsmetoden*» ble utviklet og beskrevet av norske hydrologer allerede på 1920-tallet, (Søgnen og Aastad, 1928, NVE, 1996, s. 44). Metoden er særlig nyttig for vannføringsmålinger i turbulente elver.

Fra senere tiår nevnes nye metoder med bruk av

- fluksmeter for måling av vertikaltransport av vanndamp;
- fjernanalyse (ERTS 1 – Landsat fra 1972) og GPS (glasiologi);
- ADCP (akustisk måling av vannhastighet);
- radioaktive metoder, særlig med bruk av bakkens naturlige gammaaktivitet (bre, snø, markvann);



Figur 5.1: Kalibrering av strømmåler (flygel) ca. 1920. Flygelet ble trukket med så jevn hastighet som mulig gjennom en råk i isen på innsjøen. Strekning, tid og antall propellrotasjoner ble notert. I dag kalibreres strømmålere i hydrauliske laboratorier. Foto: NVE

- snøputer/trykksensorer siden 1967 (snøens vannekvivalent); og
- georadar (bre, grunnvann) (flere artikler i: OGF, 1999).

Grunnlaget for hydrologiske analyser er observasjoner i felt av vannstanden i elver og innsjøer, kombinert med beregning av vannføring (i elver) ved hjelp av en såkalt vannføringskurve. Denne kurven konstrueres ut fra sammenhørende verdier av observert vannstand og målt vannhastighet vha. flygel, se fig. 5.1. Ordet er avledet av tysk «*flügel*» = *vinge* etter formen på instrumentets propell-vinger. Tidlige strømmålere ble ofte importert fra et tysk instrumentfirma, og NVE skal tidlig ha hatt vanskeligheter med Tollvesenet som skulle beregne importtoll på de tyske flyglene, i den tro at det var musikkinstrumenter.

Tidlige tiders vannstandsmålere, allerede fra faraoenes Egypt, besto av en vertikal, gradert målestav, i Norge kalt vannmerke. Vannmerkene ble lenge avlest manuelt hver dag, inntil de første registrerende målerne, limnigrafer, ble tatt i bruk fra ca. 1925. De lokale observatørene var pålitelige og pliktoppfyllende folk, som månedlig sendte



Figur 5.2: Moderne hydrometrisk stasjon med trykksonde, solcellepanel og automatisk dataoverføring. Foto: NVE



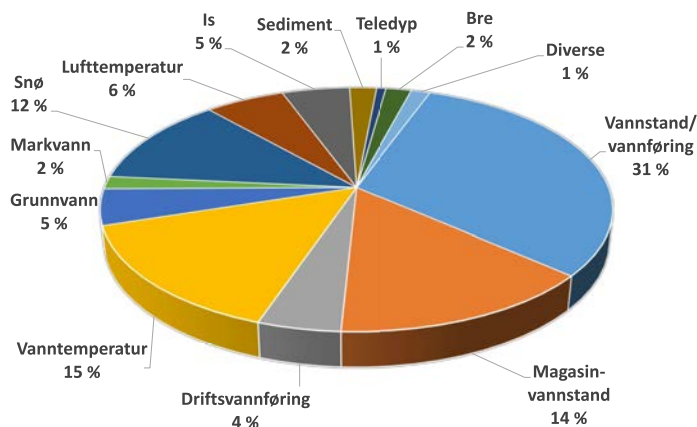
inn vannstandslistene. En anekdote fra Hydrologisk avdelings historie illustrerer observatørens hverdag:

Et vannmerke var plassert på andre siden av et vatn der observatøren bodde, og var derfor vanskelig tilgjengelig, og bare med båt. Månedslista med data hadde en gang følgende kommentar: «Eg har ikkje fått målt vassmerket sist veke på grunn av sterk vin»

De tidligste vannstandsmålingene fra 1820-årene var ikke kontinuerlige, men pågikk kortere perioder for spesielle formål. Etter etablering av en nasjonal tjeneste i Kanalvesenet, og fra 1907 NVE, fulgte, ikke overraskende, en periode 1910-1930 med svært aktiv etablering av permanente vannmerker. Det hydrologiske stasjonsnettet som i 1907 hadde 91 «*faste målesteder*» økte med ca. 20 stasjoner hvert år frem til ca. 1930, da den økonomiske stagnasjonen også vises i en kraftig nedgang i nyetableringer. Etter Annen verdenskrig økte aktiviteten igjen, drevet av vannkraftutbyggingen 1950-1980. I begynnelsen av denne vekstperioden var antallet vannmerker ca. 650, mot dagens ca. 2000. Dagens vannmerker er betydelig mer avanserte og tillater helkontinuerlige observasjoner, datalagring på elektroniske medier og automatisk overføring til en sentral database, figur 5.2.

Fra tidlig 1900-tall ble data, også hydrologiske, registrert på hullkort og etter hvert

## HYDROLOGI



Figur 5.3: Vårt nasjonale hydrologiske stasjonsnett 2017 fordelt med hensyn til måleparametre og stasjonsantall. Kilde: Svein Taksdal, NVE

hullbånd. Nasjonale hydrologiske data ble publisert årlig som «Vannstandsobservasjoner i Norge» frem til 1977. Senere dekktes brukernes behov for datatilgang og generelle analyser på elektronisk vis.

Elektronisk databehandling innen hydrologien startet tidlig i Norge sammenliknet med andre land. Allerede i 1961 ble driftssimuleringer for vannkraftverk (Røssåga) kjørt på Facit Electronics' anlegg i Göteborg. Andre samarbeidspartnere på denne tiden med egne datamaskinanlegg var Meteorologisk institutt og Institutt for atomenergi (senere IFE). NVE fikk tidlig en egen regnemaskin, en danskprodusert GIER, i 1964. Den ble avløst i 1970 av en CDC 3200. (NVE, 1996, s.105; Roald, 1999)

NVE utfører i dag målinger på ca. 2000 stasjoner. Daglig lagres ca 100.000 verdier i den hydrologiske databasen. Årlig tilvekst er ca 36 000 000 enkeltverdier (per 2008). Dersom man summerer alle måleparametere på alle stasjoner siden målestart på hver enkelt stasjon blir det ca 180.000 år med målinger som er registrert i databasen, fig. 5.3.

## Fra «klassisk» overflatehydrologi til faglig spredning

### Grunnvann.

Det er foretatt regelmessige observasjoner av grunnvann i Norge siden 1949. NVE etablerte et grunnvannskontor i 1961, med særlig orientering mot reguleringsvirkninger. Kontoret ble fra starten ledet av Øystein Aars. I dag er det interessen for grunnvann som vannforsyningskilde som dominerer, fig. 5.4. Det er faglig kompetanse innen grunnvann ved mange norske institusjoner, særlig: Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges Geotekniske Institutt (NGI), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) og NVE.

Det ble fra 1977 organisert et samarbeid om overvåking mellom NVE og NGU, kalt Landsomfattende grunnvannsnnett, LGN.

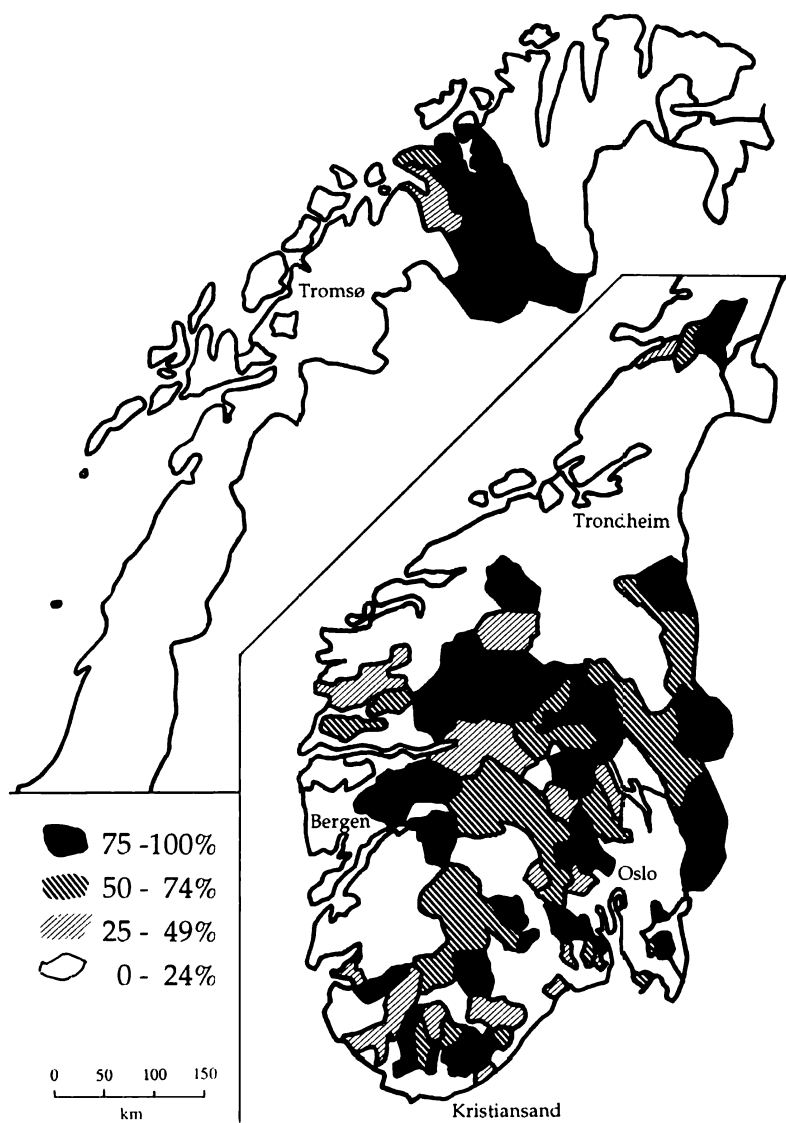
Fra 1989 startet programmet Grunnvann i Norge, GiN, etablert av Miljøverndepartementet og organisert ved NGU. Programmet pågikk frem til 1995 og omfattet kartlegging og etablering av databaser for grunnvann i 15 fylker. Grunnvann er ofte et bakteriologisk bedre og rimeligere alternativ til vannforsyning enn overflatevannskilder, og det er siden 1915 boret ca. 80 000 grunnvannsbrønner i fjell, men de fleste grunnvannsbrønner ligger likevel i løsmasser. Likevel spiller grunnvann en liten rolle i norsk vannforsyning, ca. 13 %, sammenliknet med våre naboland: Danmark nær 100 %, Sverige og Finland ca. 50 %. Det antas at grunnvannsandelen i vår vannforsyning lett kunne dobles, til 25–35 %.

Siden innføringen av en ny vannressurslov i 2000 (den erstattet Vassdragsloven av 1940) har forvaltningen av grunnvannet fått en sterkere lovhjemmel. Det er verdt å merke seg at i internasjonalt perspektiv er denne loven i utakt med mye annen nyere vannlovgivning ved at den gir grunneier eiendomsrett (ikke bare bruksrett) til grunnvannet under eiendommen.

### Is i vassdrag

Parallelt med «Det offentlige isutvalg» på 1950-tallet, etablerte NVE et iskontor fra 1949, ledet av Edvigs Kanavin fra Latvia. I forarbeidet var bl.a. H.U.Sverdrup og O.Devik sentrale. (Kanavin, 1976, s.211). Naturlig nok har målinger og studier av vanntemperatur også vært sentrale for iskontoret. Den praktiske nytten ligger bl.a. i studier av biotoper for vannlevende organismer, og for ferdsel på og langs vassdrag. Isdannelse har også åpenbare følger for overføring og inntak av vann i vannkraftverk.

# HYDROLOGI



Figur 5.4: Andel av befolkningen i norske kommuner som forsynes med grunnvann (NGU, 1992)



Figur 5.5: Materialtransport i vann skjer i tre ulike former: Som bunntransport langs elvebunnen; som partikler svevende i vannet (suspensjon); og som oppløst stoff. Kilde: NVE

Ved siden av NVE har isundersøkelser vært et arbeidsfelt også ved bl.a. Vassdrags- og havnelaboratoriet, NTNU/SINTEF.

## Breer

Studier av norske isbreer har en lang historie, og er viet et eget kapittel i denne boka. NVE organiserte nasjonal breovervåking gjennom et brekontor, senere snø- og brekontor, fra 1962, og med Gunnar Østrem som første leder. Blant mange lokaliteter har særlig Nigardsbreen, Ålfotbreen og Svartisen vært sentrale. Under Engabreen (Svartisen) har NVE drevet et subglasialt brelaboratorium siden 1967, med støtte fra bl.a. Statkraft og med betydelige internasjonale kontakter. Brekontoret utførte også systematiske målinger av sediment-transport, særlig i breelver. Naturlig nok, ettersom erosjonen under breer er stor, og materialtransporten i breelver betydelig større enn i vassdrag uten breer. Et sediment-laboratorium ble etablert i NVE i 1968. Data og analyser av erosjon og sedimenttransport kommer til praktisk nytte i NVEs arbeid siden 2009 med å varsle og forebygge jord- og flomskred, en virksomhet som utføres i samarbeid med NGU, fig. 5.5.

NVEs hydrologiske avdeling har, som andre virksomheter i NVE, etablert over-

## HYDROLOGI

våking av våre vannressurser ved en rekke distriktskontorer (Østlandet, Sørlandet, Vest-Norge, Midt-Norge og Nord-Norge).

Det foregår selvsagt mye hydrologirelatert virksomhet også ved andre norske institusjoner: Særlig nevnes her Norsk institutt for vannforskning (NIVA) etab. 1968, Norges geologiske undersøkelse (NGU), Norges geotekniske institutt (NGI), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Vassdrags- og havnelaboratoriet, (samarbeid mellom NTNU og SINTEF), Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Bioforsk Jord og miljø (tidl. Jordforsk), departementer, vannkraftindustrien, konsulentbransjen m.m.

### Flom

Et særlig viktig fenomen for hydrologer er flommer. Samfunnet har behov for dimensjonering av flomsikre konstruksjoner i vassdrag og for varsling av flom. I begynnelsen av det 20. århundre ble det utviklet empiriske formler for beregning av påregnelig flom, men uten vurdering av sannsynlighet. I Norge ble et formelverk utarbeidet av Reinhard Søgner mye brukt, (Søgner, 1942). Fra 1960-tallet er norske flomberegninger utført med statistiske metoder for å kunne angi sannsynlighet for overskridelse (Tollan, 1964). Både log-normalfordeling og en 2-parameter gammafordeling har vært brukt.

En begivenhet av stor betydning for flomvarslingen var «Vesleofsen» i 1995, den største flom i Norge siden «Storofsen» i 1789. Allerede siden 1989 hadde NVEs flomvarsling vært døgnkontinuerlig og landsdekkende, etter store flommer i Glomma 1966 og 1967. Tidlig på våren 1995 viste snøputene i Sør-Norge (se ovf.) snømengder nær maksimum av tidligere observasjoner, og 9. mai 1995 sendte NVE ut pressemelding om fare for storflom over Østlandet dersom snøsmeltingen skulle bli forsinket. «Også kraftig nedbør under snøsmeltingen vil forverre flomforholdene». Det var nettopp dette som skjedde i slutten av mai/begynnelsen av juni. Flommen kulminerte nedover i Glommavassdraget over dagene 3.–11. juni. Ved Rånåsfoss nådde flomtoppen vel 4000 m<sup>3</sup>/s. Skadene etter Vesleofsen nådde 1,8 mrd. kr (1995-), og ett menneske omkom i flommen.

Gjentaksintervallet for Vesleofsen er beregnet til rundt 200 år i de sentrale delene av Trysil, Østerdalen og Gudbrandsdalen (Tollan, 1995). Det fortjener å understrekes at begrepet «200-årsflom» ikke betyr, slik en vanlig misforståelse antar, at det går 200 år mellom hver slik hendelse og at man innimellom har en kvote på 199 år med

mindre flommer, men at det hvert år er en sannsynlighet på ca. 0,5 % for at hendelsen nås eller overskrides.

1995-flommen førte til stor oppmerksomhet i befolkningen og media om flom og flomvarsling. Allerede i juni 1995 oppnevnte Regjeringen ved kongelig resolusjon et eget utvalg, Flomtiltaksutvalget, og myndighetene ga støtte til styrking av stasjonsnettet og forskning om årsakene til store flommer, gjennom HYDRA-programmet 1996-2000, (NVE, 2000). Som en del av HYDRA-programmet ble det gjort et betydelig forskningsarbeid for å beskrive spesifikke skadefunksjoner, og utvikle annet verktøy for økonomisk risikoanalyse for flommer (Sælthun et al. 2000). I alt ble det publisert 24 forskningsrapporter og 38 –notater fra prosjektet (NVE, 2000).

En viktig innsikt etter Vesleofsen og andre store flommer er at det i praksis er umulig å sikre et område fullstendig mot flom. En strategisk lærdom er uttrykt i tittelen på en oppsummering av HYDRA-programmets resultater: «Å leve med flaum».

Det er klart av stor betydning for å kunne vurdere flomrisiko og planlegge fornuftige tiltak mot flomskader, at vi kjenner historiske flommer, deres årsak, forløp og skadeomfang. Et slikt flomhistorisk verk for Norge foreligger nå (Roald, 2013). Siden 2009 er skredvarsling kommet til som oppgave for NVE, i nært samarbeid med andre faginstitusjoner.

## **Forskning og internasjonalt samarbeid**

Hydrologisk forskning i Norge var svakt utviklet og organisert før 1960, men flere store programmer endret på dette. I det hele tatt synes det som om vi i Norge helst organiserer vår forskning som programmer med statlig støtte. Det internasjonale IHD-programmet (International Hydrological Decade) ledet av Unesco fra 1965 til 1974 var særlig viktig, (Tollan, 1972). Bl.a. fikk fordampning og markvann, som elementer i vannets kretsløp, større oppmerksomhet enn tidligere. Markvann er vannet i den umettede sonen mellom overflaten og grunnvannspeilet. Etter avsluttet IHD-periode i 1974 har Unesco forlenget dette samarbeidet i et International Hydrological Programme, IHP. Norge deltar aktivt også i IHP, gjennom Norsk hydrologiråd.

Mye av den norske IHD-forskningen ble lagt til tre såkalt representative områder: Lillefjell, Romerike og Sagelva (ved Trondheim). Hensikten var å studere vannbalansen i ulike naturtyper mht. topografi, geologi og vegetasjon. I valget av naturtyper

## HYDROLOGI

samarbeidet de fem nordiske landene aktivt. Dels som et resultat av IHD ble (daværende) NLHs undersøkelser av små jordbruksfelter intensivert med overvåking av vannbalanse og kjemiske egenskaper (Rognerud, 1972). I forlengelse av denne forskningen etablerte Jordforsk (nå Bioforsk Jord og miljø) i 1992 et omfattende program for jord- og vannovervåking i landbruket, JOVA. (<http://www.bioforsk.no/jova>).

Et viktig resultat av det norske IHD-programmet var den kontakt og gjensidige oppmerksomhet det skapte mellom norske vannfaglige miljøer, og flere av samarbeidsprosjektene ble ført videre etter 1975. Parallelt med Unesco's IHD-/IHP-programmer har WMO (World Meteorological Organization) etablert et program for operativ hydrologi, OHP, der Norge deltar aktivt, gjennom NVE, i kunnskapsutvekslingen.

En avlegger av det internasjonale forskningssamarbeidet innen IHD var FRIENDS-programmet (Flow Regimes from International Experimental and Network Data Sets) 1985–1989, med International Association for Hydrological Sciences, IAHS, i en lederrolle. Programmet fikk deltakere fra 13 europeiske land, og Norge deltok aktivt med forskere fra UiO og NVE, og avslutnings-konferansen ble holdt på Bolkesjø 1989, (IAHS, 1989)

Et annet eksempel på internasjonalt FoU-samarbeid med norsk deltakelse er aktiviteter innen International Commission on Large Dams, ICOLD, bl.a. med hensyn til hvordan reguleringsdammer påvirker flomforholdene, (ICOLD, 2003)

Også flere andre norske forskningsprogrammer med hydrologisk innhold har blitt gjennomført de seneste ca. 50 år, således PRA (Program for rensing av avløpsvann) 1971–1977 med departemental støtte. PRA-programmet tok bl.a. opp forskning om urbaniseringens innvirkning på avrenningen fra små nedbørfelter. Mange observasjonsstasjoner i byer og tettsteder ble etablert i PRA-regi, og er fortsatt i drift (NVE, 1975). «Urbaniseringsprosjektet» var også avansert for den tiden ved at det tok i bruk mekaniske dataloggere med 5-kanals hullbånd, med 5 min. tidsoppløsning. Samtidig ble nedbørobservasjoner i urbanfeltene registrert hvert minutt med «Plumatic»-måleren, utviklet ved Meteorologisk institutt.

Blant andre programmer med tilsnitt av vannforskning nevnes BBV (Bedre bruk av vannressursene), 1989–1993, etablert av Norges Teknisk-naturvitenskapelige Forskningsråd, NTNF. Her må også nevnes HYDRA-programmet 1996-2000 om årsakene til store flommer (se ovf.)

Når det gjelder forskningens verktøy har ikke minst utvikling og bruk av matematiske modeller for hydrologisk bruk blitt vanlig (Sælthun, 1999). Tidligere tiders



enkle beregningsverktøy så som Den rasjonale formel  $q = k \cdot i \cdot F$ , der  $q$  er vannføring,  $k$  er konstant,  $i$  er nedbørintensitet og  $F$  er feltareal, eller det såkalte enhetshydrogrammet utviklet av amerikanerne Sherman og Horton på 1930-tallet, ble erstattet med begrepsmessige modeller for nedbørfeltets hydrologiske respons på nedbør og snøsmelting, inspirert av bl.a. den svenske HBV-modellen.

Naturlig nok har prognoser for snøsmelting stor betydning i vårt land; for å varsle vårflo, og for å beregne ventet tilsig til vannkraftmagasiner. Tidligere dominerte enkle, empiriske, modeller så som «graddag-modellen»:

$$S = k \sum (t_m - t_0), \quad (5.1)$$

der smøsmeltingen,  $S$ , antas proporsjonal med summen av positive grader over en grenseverdi, for en tidsperiode, (bl.a. Otnes og Ræstad, 1978). De er nå erstattet eller supplert med modeller som simulerer nedbørfeltets respons ved hjelp av lineært eller parallelt koblede magasiner, (eks. Sælthun 1979). Samtidig er også estimater av snøfordelingen i nedbørfeltet forbedret (Killingtveit, 1978).

Spesielt for urban avrenning ble den amerikanske EPA-modellen tilpasset norske forhold (Roald, 1975). For dimensjonering av avløpsanlegg er det viktig å kunne beregne avrenningen etter nedbør med en viss intensitet og varighet.

Et interessant og aktuelt eksempel både på internasjonalt forskningssamarbeid og hydrologiens betydning for samfunnsøkonomien, er studier av hvordan klimaendringene vil påvirke fornybare energiresurser i Norden. Arbeidet har vært støttet av Nordisk ministerråd. Fra norsk side medvirket et stort antall forskere fra NVE, Sintef, IFE og Meteorologisk institutt. Resultatene er publisert, og med den generelle konklusjon at de fleste klimaendringene vil være gunstige, og at ingen er katastrofale for energipotensialet i Norden, (Fenger, J., red., 2007).

Ikke overraskende har mye forskningsinnsats i senere år dreid seg om mulige konsekvenser av klimaendringene for avrenningen. Ett av flere eksempler er Wilson et al. (2010).

## Undervisning

Undervisning i hydrologi i Norge tok også fart på 1960-tallet. Den første undervisningsstilling i faget ved UiO kom i 1966 (Marius Todsén), og et eget professorat fra 1984 (Lars Gottschalk). Ved NTH/NTNU ble VA-teknikk som fag trappet opp fra

ca. 1985, da man fikk et fast professorat med hydrologi som element. Deler av hydrologien undervises i dag også ved UiB, NMBU og enkelte regionale høyskoler, spesielt Telemark.

Også utgivelse av norske lærebøker i faget har fått et visst omfang: (Klæboe 1962, Otnes og Ræstad 1978, Tollan, 2002), samt kurskompendier, bl.a. i regi av Den norske ingeniørforening — Tekna, NTH-NTNU, UiO o.fl.

## Hydrologifaget og NGF

Norske hydrologer har først i de seneste 25 årene deltatt særlig aktivt i NGFs møter, trolig pga. de tidligere ganske strenge opptaksvilkårene for nye medlemmer. Det har likevel blitt etablert verdifulle personkontakter mellom foreningens medlemmer, på tvers av faggrensene. Det ligger vel også i NGF's arbeidsform at det har vært lite av organisert prosjektsamarbeid i NGFs regi mellom hydrologien og andre fagdisipliner.

## Personellbehov

Det finnes ingen aktuell undersøkelse av personellbehovet for hydrologer i vårt land. Derimot er personellbehovet i VA-bransjen nylig undersøkt, (Lindholm og Moen, 2014). De uttrykker en viss bekymring for svak rekruttering. Tilsvarende bekymring kan spores også hos rent hydrologiske arbeidsgivere.

Det kan noe løselig anslås at det i Norge arbeider nær 100 hydrologer utdannet på universitetsnivå, ca  $\frac{2}{3}$  av dem i NVE. For tiden arbeider 20–30 utenlandske hydrologer i Norge, og antallet synes å øke. Balansen mellom tilgang på nyutdannede hydrologer og naturlig avgang (pensjonering, død, nytt arbeidsfelt) synes å være rimelig god. Det må imidlertid ventes et mulig økt behov i enkelte retninger, særlig innen miljøvern/klimaendringer, bistandsarbeid, og gjennomføring av EUs vannedirektiv. Et positivt tiltak for å øke interessen blant ungdom på vgs-nivå for studier i vannfag, er Norsk juniorvannpris, NJVP. Konkurransen om NJVP arrangeres årlig siden 2001 i et samarbeid mellom Norsk Vannforening, Norsk hydrologiråd og foreningen VA-yngre, og med sponsorstøtte fra næringsliv og vannfaglige instanser. Temavalg kan være hydrologiorientert, men ikke nødvendigvis. NJVP er assosiert med den internasjonale Stockholm Junior Water Prize.

Kjønnsbalansen i norsk hydrologi er interessant. Faget ble nok lenge ansett som

typisk maskulint, med et stort innslag av feltarbeid. Den første kvinnelige hydrolog i Norge med høyere utdanning var cand.real. Randi Pytte Asvall, tilsatt 1963 som glasiolog ved NVEs Brekontor. Flere kvinnelige hydrologer er tilsatt, særlig etter ca. 1980. I dag har NVE ca. 10 kvinnelige hydrologer, mange av dem med PhD eller Cand.scient.-eksamen. Den samme utviklingen har vært tydelig i andre institusjoner med hydrologi som arbeidsfelt. Bl.a. fikk Universitetet i Oslo siden 2006 landets første kvinnelige professor i hydrologi, Lena M. Tallaksen, etter at hun hadde hatt annen undervisningsstilling samme sted.

## Fremtidsperspektiv

EUs vanndirektiv (2000) setter mål og rammer for en felles vannpolitikk i Europa, (EU, 2013). Norge er siden 2009 forpliktet til å gjennomføre direktivet som en del av EØS-avtalen, og en egen vannforskrift fra 2007 styrer dette arbeidet. Det skal settes miljømål, og vannforvaltningen skal være helhetlig geografisk og på tvers av sektorer. Helhetlig vannforvaltning vil bl.a. bety at vannressursene forvaltes på nedbørfelt-nivå, et prinsipp som klart faller i hydrologers smak. I praksis er landet nå inndelt i 11 vannregioner basert på fylkesinndelingen og med topografiske vannskiller som grenser. Vannregionene består i sin tur av vel 100 vannområder. Gjennomføringen av vanndirektivet ventes å sette nye krav til overvåking av vannressursene, og dermed til vår hydrologikompetanse.

Når det gjelder bistandsarbeid må vi vente at under et fremtidig klima med mer ekstreme utslag av flom og tørke vil det bli et økt behov, ikke minst i utviklingsland, for hydrologisk fagkunnskap for varsling, dimensjonering av byggverk og infrastruktur, og generell vannforvaltning.

## Konklusjon

Eksakt kunnskap om landets vannressurser har 200-300 år dype røtter. Samtidig har norsk hydrologi i NGFs levetid utviklet seg fra en i høy grad feltbasert og deskriptiv disiplin til et fag med godt teoretisk grunnlag og kompetanse for analyse og prognose, i takt med økende undervisningsnivå og -kapasitet. Et interessant utviklingstrekk er at kvinner nå utgjør en betydelig andel av landets yrkeshydrologer. Til tross for en viss dominans i landets sentral-institusjon: NVEs hydrologiske avdeling, finnes

kompetente fagmiljøer i en rekke forskningsinstitutter, universiteter og høyskoler, samt hos store brukere innen vannkraft, VA-teknikk og konsulentbransjen.

Vår forskningsaktivitet har vært, og er, preget av store prosjekter, oftest med offentlig finansiering, og med klart definerte praktiske mål. Dette er ganske naturlig i lys av vannressursenes store betydning for vår nasjonaløkonomi (vannkraft, vannforsyning og avløpstjenester, fiskeoppdrett og annen næringsmiddelindustri, jordbruk, turisme m.m.)

Internasjonalt har norske hydrologer deltatt aktivt i utvikling av observasjonsteknikk, innen forskning, og som prosjektpartnere i utviklingsland.

## Referanser

- Andreassen, L.M. og S.H.Winsvold (red.) (2012). *Inventory of Norwegian Glaciers*. NVE Rapport 38-2012, 236 s.
- Eie, J.A. (2013). *Vannkraft og miljø*. NVE, 102 s.
- EU (2013). *A Water Blueprint for Europe*. 28 s.
- Fenger, J., (red.) (2007). *Impacts of Climate Change on Renewable Energy Sources. Their role in the Nordic energy system*. Nord 2007:007, 190 s.
- Gottschalk, L. (2000). *Hydrologiens historie*. Kompendium UiO, 20 s.
- IAHS (1989). *FRIENDS in Hydrology*. Ed. by L.Roald, K.Nordseth and K.A.Hassel. IAHS Publ. no.187, 491 p.
- ICOLD (2003). *Dams and floods. Guidelines and cases histories*. ICOLD Bulletin 125, 224 s.
- Kanavin, E.V. (1976). *Isfysikeren*. s. 211–214 i «Fra solatmosfære til havdyp» tilegnet Olaf Devik. Universitetsforlaget
- Killingtveit, Å. (1978). *A new approach to snow accumulation modelling?* Nordic Hydrol. Conf. 1978, Hanasaari, 12 s.
- Klæboe, H. (1962). *Grunntrekk av hydrologien, særlig Norges hydrologi*. Univ.forlaget, 248 s.
- Krokli, B. (1988). *Analyse av lavvannføringer*. NVE publ. V14

- Lindholm, O. og S.E. Moen (2014). *Rekruttering av sivilingeniører og ingeniører til VA-sektoren – Status og prognose*. VANN 1-2014, s. III–120
- Lundquist, D. (1977). *Modellering av hydrokjemi i nedbørfelter*. SNSF IR 31/77, 27 s.
- NGU (1992). *Grunnvann i Norge (GiN). Sluttrapport*. NGU Skrifter III, 37 s.
- NVE (1958). *Hydrologiske undersøkelser i Norge (med kart- og figurbilag)*. Aschehoug, Oslo, 276 s.
- NVE (1975). *Program for rensing av avløpsvann*. Prosjekt 4.2 Dataoversikt 1972–1974, 197 s.
- NVE (1996). *Tiden går – vannet består. Hydrologisk avdeling gjennom 100 år, 1895–1995*. Red.: Øystein Aars og Gunnar Østrem, 183 s.
- NVE (2000). *Flommen kommer... Sluttrapport fra HYDRA – et forskningsprogram om flom*. Red.: O.Eikenæs m.fl., 108 s.
- NVE (2002). *Kart over avrenning 1961–1990*
- NVE (2012). *Vann- og energiforvaltning – glimt fra NVEs historie*. Red.: Per Einar Faugli. 99 s.
- Oslo Geofysikeres Forening (1974). *Moderne norsk geofysisk forskning*. OGFs 25årsjubileum
- Oslo Geofysikeres Forening (1999). *Fra jordas indre til atmosfærens ytre. OGF 50 år*. Festskrift
- Otnes, J. (1964). *Beregning av regulert vassføring og vassføringsøkning ved vassdragsreguleringer*. Elektrotekn. Tidsskr. 77-nr. 24, 17 s.
- Otnes, J. (1980). *Nordens eldste hydrologibøker*. s.21–38 i «Nordisk hydrologi i utvikling.» SMHI, Norrköping, 86 s
- Otnes, J. og E.Ræstad (red.) (1978). *Hydrologi i praksis*. Rev. og utvidet utgave, Ingeniørforlaget, 313 s.
- Overrein, L.N., H.M.Seip and A.Tollan (1981). *Acid precipitation – effects on forest and fish. Final report of the SNSF-project 1972–1980*. 2nd ed., 175 p.

## HYDROLOGI

- Pettersson, L.E. (2004). *Totalavløpet fra Norges vassdrag 1961-2002*. NVE-rapport nr. 3-2004
- Raforkumálastjóri (1956). *Íslensk vötn 1*. Red.: Sigurjón Rist, 127 s.
- Roald, L.A. (1975). *Forsøk på tilpasning av EPA-modellen til norske forhold*. s. 278–283 i «Kvantitativ urban hydrologi». Nord. Symp., Sarpsborg. Den norske komité for IHD.
- Roald, L.A. (1999). *Databehandling ved Hydrologisk avdeling i NVE*. I OGF (1999), s. 69–72.
- Roald, L.A. (2013). *Flom i Norge*. Forlaget Tom & Tom, NVE-rapport 56-2013, 184 s.
- Rognerud, B. (1972). *Vannbalansestudier i delfelt innen det norske IHD-programmet*. VANN 2-1972, s. 146–154
- SMHI (2008). *Om 100 år. Den svenska hydrologiska tjänsten 1908–2008*. Red. Sten Bergström och Gunlög Wennerberg.
- SYKE / Suomen ympäristökeskus (2008). *The water cycle. Hydrological service in Finland 1908–2008*. Red.: Esko Kuusisto
- Sælthun, N.R. (1979). *Use of integrated hydrological models with distributed snow cover description for hydrological forecasting in Norway*. p. 406–413 i «Modelling of Snow Cover Runoff», Proc. US Army Corps of Engineers/CRREL
- Sælthun, N.R. (1999). *Hydrologiske og meteorologiske modeller, et perspektiv*. s. 73–85 i OGF, 1999
- Sælthun, N.R., Gottschalk, L., Krasovskaia, I., Berg, H., Voksø, A., Kristensen, S.E., Eggestad, H.-O., Skoglund, M. og Wathne, M. (2000). *Økonomisk risikoanalyse for flommer*. HYDRA-rapp. R 03, 148s
- Søgnen, R. (1942). *Beregning av sjøers naturlige reguleringsevne og flommer i norske vassdrag*. Eget forlag/Joh. Nordals Trykkeri, Oslo
- Søgnen, R. og J. Aastad (1928). *Ny metode for bestemmelse av vannføringen i naturlige og kunstige vannløp*. Teknisk Ukeblad, Oslo
- Tollan, A. (1964). *Litt om maksimalflommer og statistisk behandling av forskjellige flomtyper*. 4. nordiske hydrologkonferanse, Reykjavik

- Tollan, A. (1972). *IHDs betydning for hydrologisk forskning i Norge*. VANN 2: 139–145
- Tollan, A. (1995). *Vesleofsen*. Vær og klima, 1995, nr. 4, s. 128–137
- Tollan, A. (2001). *Vannressurser i et økonomisk perspektiv*. Vann 4-2001, s. 299–307
- Tollan, A. (2002). *Vannressurser*. Universitetsforlaget. 227 s.
- Tollan, A. (2010). *Norsk vannforvaltnings historie*. Norsk Vann, Bulletin 1-2010, s. 8–11
- UNECE (2004). *Clearing the Air. 25 years of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Eds.: J. Sliggers and W. Kakebeeke, 167 p.
- UNESCO / WMO (1992). *International glossary of hydrology*. 2nd edition, Paris, 413 s.
- Wilson, D., Hisdal, H., Lawrence, D. (2010). *Has streamflow changed in the Nordic countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections*. Journal of Hydrology, 394, p. 334–346.
- Østrem, G., N.Flakstad og J.M.Santha (1984). *Dybdekart over norske innsjøer*. NVE, Medd. nr. 48 fra Hydrologisk avdeling, 128 s.





# Kapittel 6 — Meteorologi: Moderne værvarsling – Fra Vilhelm Bjerknes' visjon fra 1904 til i dag

AV SIGBJØRN GRØNÅS OG MAGNE LYSTAD



Forrige side:  
Vilhelm Bjerknes: Oljemaleri malt av Rolf Groven, 1983, eies  
av Geofysisk institutt, Bergen

## Bakgrunn

Allerede på begynnelsen av 1800-tallet var en klar over at fysikkens lover måtte gjelde for værphenomener i atmosfæren. På slutten av 1800-tallet blomstret mange vitenskaper, men svært lite av dette kom værvarsling til del. Mange land i Europa hadde riktignok opprettet sine nasjonale meteorologiske institutt og bygd ut meteorologiske målestasjoner med det formål å skaffe data for å varsle været. Telegrafene gjorde det etter hvert mulig å raskt samle dataene nasjonalt og spre dem internasjonalt. Imidlertid var værvarsling i denne tiden en beskrivende virksomhet av atmosfærens sirkulasjon, men man fant ingen gode metoder å arbeide etter. Situasjonen beskrives godt av den geniale tyske vitenskapsmannen Hermann von Helmholtz (1821–1894), som skriver (Helmholtz, von, 1884; Godske, 1956): Under den samme himmelhvelving på hvilken de evige stjerner skrider frem som sinnbillede på naturens uforanderlige lovmessighet, baller skyene seg, veksler vinden, styrter regnet som tegn på den motsatte ytterlighet, blant alle naturphenomener de lunefulles vekslende, som flyktige og ugripbare unndrar seg ethvert forsøk på å fanges under lovens tøyler. Det ble nordmannen Vilhelm Bjerknes som viste vei ut av uføret. Han var den første som analyserte problemet værvarsling ut fra vitenskapelige prinsipper (Grønås, 2005).

## Bjerknes' visjon for værvarsling

I 1904 publiserte Vilhelm Bjerknes en kort artikkel i *Meteorologische Zeitschrift*, Wien (Bjerknes, 1904 I), med overskrift: *Das Problem der Wetterforhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik* (Problemet værvarsling sett fra mekanikkens og fysikkens ståsted). Den inneholdt det som blir regnet for å være den første vitenskapelige analyse av problemet værvarsling, en syntese av hans tanker fra studier i lang tid innen hydro- og termodynamikk. Artikkelen ble innledet med følgende:

*«Dersom det er slik, som alle naturvitenskapelig tenkende mennesker tror, at påfølgende tilstander i atmosfæren utvikles fra den foregående i følge fysikkens lover, da er det innlysende at den nødvendige og tilstrekkelige betingelse for en rasjonell løsning av problemet værvarsling er som følger:*

## METEOROLOGI

- *Man må med tilstrekkelig nøyaktighet kjenne atmosfærens tilstand ved et bestemt tidspunkt.*
- *Man må med tilstrekkelig nøyaktighet kjenne lovene som styrer utviklingen av atmosfæren fra en tilstand til den» neste.*

Presist og direkte formulerer han her det som i dag kan kalles *Bjerknes' prinsipp for værvarsling*. Prinsippet gjelder for alle rasjonelle metoder for varsling av været. Bjerknes beskrev kort hvordan oppgavene kunne utføres. Slik uttrykte artikkelen Bjerknes' visjon og program for hva som skulle til for å utvikle en rasjonell værvarsling. Han delte problemet i to deler: en analysedel – som Bjerknes kalte diagnose - og en prognosedel. *Analysen* består i å kartlegge atmosfærens tilstand ved ett tidspunkt; dvs. lage værkart basert på målinger av vind, temperatur, trykk og fuktighet overalt på jorda i alle lag av atmosfæren. Prognosen består i å beregne framtidige endringer i atmosfærens tilstand uttrykt ved kjente ligninger for bevegelsen; ligninger som uttrykker at bevegelsesmengde, masse og energi er bevart (ikke endrer seg i tid). Artikkelen la grunnlaget for moderne værvarsling, men siden beregninger av klimaendringer bygger på samme metode, har også moderne klimamodeller sin begynnelse i Vilhelm Bjerknes' tenkning.

Da Bjerknes skrev sin artikkel eksisterte det bare meteorologiske observasjoner for jordoverflaten, men han uttrykte i sin artikkel: «*Vi kan håpe ... at tiden snart vil komme da en, enten i daglig rutine eller for utvalgte perioder, har tilgjengelig en komplett diagnose for atmosfæren.*»

Bjerknes var litt senere med å organisere samtidige målinger over store deler av Europa i utvalgte perioder (gjennom International Commission for Scientific Aeronautic). Ballonger med meteorologiske instrumenter, som steg til mer enn 10 000 meter, ble sluppet flere ganger daglig fra utvalgte posisjoner fra flere land over perioder på noen få dager. Disse ballongene sprakk i stratosfæren og instrumentene med registreringene dalte ned til bakken i fallskjerm og ble som regel funnet. I sin tid som direktør for Geofysisk institutt i Leipzig (1912–1917), analyserte Bjerknes og hans stab disse målingene, som senere skulle danne grunnlaget for de første forsøk på beregninger for å framskaffe en prognose. Samtidig bygde Bjerknes og hans medarbeidere opp det teoretiske grunnlaget for å gå løs på prognosedelen.

Bjerknes listet opp ligningene fra mekanikk og fysikk som bestemmer framtidige tilstander i atmosfæren fra en starttilstand og skisserte metoder for å løse dem, dvs.

for å utføre skritt 2 i sitatet over. Som han skrev, denne beregningsoppgaven var den viktigste og vanskeligste. Men han var sikker på at den lot seg gjennomføre og skrev i sin artikkel fra 1904: «*Vi vil helt sikkert ikke møte uoverkommelige matematiske vansker i gjennomføringen av metodene.*»

Det prognostiske skrittet består i å løse differensialligningene som uttrykker tidsendringen av atmosfærens tilstand, som Bjerknes beskrev ved sju avhengige variable: trykk, temperatur, tetthet, fuktighet og de tre komponentene av vinden (to horisontale og den vertikale). Han identifiserte så sju uavhengige ligninger for å utføre det andre skritt i sitt varslingsprinsipp: de tre hydrodynamiske bevegelsesligningene (Newtons 2. lov om at akselerasjonen til en luftpartikkel er lik summen av kreftene som virker på den), kontinuitetsligningen som uttrykker at masse ikke kan forsvinne, tilstandsligningen som knytter sammen trykk, temperatur og tetthet, og to energiligninger om energiens bevarelse: første lov i termodynamikken, som uttrykker at energi ikke kan forsvinne, og andre lov i termodynamikken, som angår entropi.

Bjerknes artikkel var av filosofisk art, og han skrev ikke opp ligningene i detalj. Han gjorde en feil ved å bruke den andre loven i termodynamikken. I stedet skulle han spesifisert en kontinuitetsligning for vanddamp (Eliassen, 1994).

Bjerknes innså at ligningene fra teoretisk fysikk ikke kunne løses direkte på reelle atmosfæriske tilstander, dertil mente han — ganske riktig ut fra tidens teknologi — at beregningsmengdene var for store. Han håpte på å utvikle omtrentlige grafiske metoder, men kom egentlig ingen vei med dette uten i helt enkle, idealiserte strømningsmønstre. Likevel hadde han et sterkt håp for framtiden. Da han begynte som direktør for et nyopprettet geofysisk institutt i Leipzig i 1912, og det allerede forelå målinger for deler av Europa i visse situasjoner, sa han i sin tiltredelsestale (Bjerknes, 1912):

*«Nå som et fullstendig sett av observasjoner for en betydelig del av de frie luftlag er blitt publisert i regulære serier, venter et svart problem på oss som vi ikke lenger kommer utenom. Vi må ikke bare anvende ligningene i teoretisk fysikk for ideelle tilfeller, men også i aktuelle situasjoner slik de er beskrevet med moderne observasjoner. ... Problemet med nøyaktig forhåndsberging, som ble løst for astronomien for århundrer siden, må også angripes på en seriøs måte for meteorologien.»*

Han innså hvor vanskelig oppgaven var og at reelle beregninger av prognoser

kunne ta mer tid enn atmosfæren selv bruker på sin utvikling. I sin tale konkluderte han med at dersom bare beregningene stemte med virkeligheten for de dagene en hadde målinger for, ville vitenskapen vinne en stor seier og et gjennombrudd for værvarsling. Da ville meteorologi, som han sa, bli en eksakt vitenskap innen fysikk. Han var overbevist om at dersom de teoretiske beregningsproblemene ble løst, ville praktiske anvendelser for værvarsling følge etter. Som han sa i sin tale fra 1912: «*Det kan ta år for å bore en tunnel gjennom et fjell. Mange arbeidere får ikke oppleve å se gjennombruddet. Likevel vil ikke dette hindre dem som kommer etter å fare gjennom tunnelen med ekspressfart.*»

Levevilkårene ble verre i Tyskland under den første verdenskrig. I 1917 valgte Bjerknæs å takke ja til et nyopprettet professorat i meteorologi i Bergen. Her dannet han Bergenskolen i meteorologi sammen med sine unge assistenter, lønnet fra et årlig bidrag Bjerknæs hadde fra Carnegiefondet i Washington. Bergenskolen viste hvor viktig det den gang var å øke observasjonstettheten for å få fram «værets ansikt». Skolen innførte fronter i analysearbeidet og en empirisk modell for utviklingsyklusen for lavtrykk dannet på polarfronten. Skolen fikk internasjonal anerkjennelse for sitt arbeid. Skolen ga oss kunnskap om dynamiske prosesser i atmosfæren og representerte en generell forbedring av kortsiktig værvarsling.

## Utvikling av værvarslingsmodeller

Med sin artikkel fra 1904 uttrykte Bjerknæs sin visjon for hva vi dag kaller numerisk værvarsling (NWP). Louis Fry Richardson ble inspirert av Bjerknæs og gjorde et fantastisk eksperiment for å regne ut for hånd været 6 timer fram (Richardson, 1922; Lynch, 2007). Han brukte analyser fra et område over Tyskland utført av Bjerknæs og hans assistenter for ulike vertikale lag. Richardson satte opp ligningene på en riktig måte og innførte numeriske metoder for å løse dem. Men svaret han fikk var helt urealistisk. Beregningene ga endringer i bakketrykket over 6 timer som var mange ganger større enn observert. Professor Peter Lynch fra Irland har vist at Richardson ikke gjorde en eneste regnefeil da han i over ett år nesten kontinuerlig utførte de addisjoner og multiplikasjoner som måtte til for å løse ligningene (Lynch, 1994). Når resultatet likevel ble urealistisk, var årsaken at analysene av vindmønstrene ikke var i balanse med analysene av temperaturen som representerer massen. Det krever en del kunnskap i meteorologi for å forstå dette. Det er en nøye sammenheng mellom

vindens tilstand og temperaturen gitt ved ligningene nevnt over. Analyser av vind og temperatur over store områder vil ikke kunne få fram denne sammenhengen tilstrekkelig nøyaktig uten å bruke spesielle metoder som sikrer balanse. Denne ubalansen førte til store tyngdesvingninger som ga store, urealistiske trykkvariasjoner.

Etter andre verdenskrig fikk den store matematikeren John von Neumann i oppgave å utnytte de første elektroniske datamaskiner til numerisk værvarsling. For dette organiserte han en forskningsgruppe i Princeton, USA. Her var nordmennene Arnt Eliassen og Ragnar Fjørtoft med, blant annet for å overføre kunnskap etter Bjerknæs og hans mange assistenter til unge, lovende amerikanske forskere. Det første varslet utført på datamaskin ble publisert i 1950 (Charney, Fjørtoft, von Neumann, 1950). I forhold til Richardsons modell var modellen brukt i Princeton mye enklere. Årsaken lå delvis i mangel på regnekapasitet. Etter som datamaskinene er blitt videreutviklet, har numerisk værvarsling utviklet seg etter Bjerknæs sin visjon med modeller basert på ligninger slik de ble satt opp av Richardson.

## ECMWF

Et stort skritt mot forbedret NWP ble tatt da European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) ble opprettet i Reading, England i 1975. Hovedformålet var å utvikle numeriske prognoser med en tidshorison på opp mot 2 uker. Som Bergensskolen gjorde banebrytende forskning innen arbeidsomgivelser der operasjonell værvarsling var det viktigste, utviklet ECMWF metodene innen omgivelser der operasjonell NWP sto i sentrum.

Metoder er blitt utviklet til å utnytte alle typer observasjoner; ikke bare avhengige variable som vind og temperatur, men også størrelser som er en funksjon av de avhengige variable, slik som stråling fra atmosfæren observert med satellitter. Gjennom de siste årene er *ensemblevarsling* blitt innført. I dette konseptet blir det beregnet et ensemble (utvalg) av prognoser fra ulike analyser for samme tidspunkt, analyser som alle er sannsynlige ut fra datadekningen. På den måten har NWP fått en tilnærming mot sannsynlighetsvarsling, i motsetning til Bjerknæs' deterministiske varsling. Hovedprognosen er en *deterministisk* prognose, med så god oppløsning som deres supercomputer tillater. I tillegg beregnes et ensemble på 50 prognoser med litt grovere oppløsning. Gjennomsnittet av ensemblet gir det beste varslet, størrelsen på avvikene fra gjennomsnittet uttrykker usikkerhet.

Lennart Bengtsson var den første lederen av forskningsavdelingen. Han har karakterisert metodene innen NWP som *methods of brutal force*. Han tenker da på de ufattelig mange aritmetiske operasjoner som blir utført på supercomputere. Uttrykket kan spores tilbake til Bjerknes' utsagn om «å bore tunneler» fra sin berømte tale i Leipzig i 1912.

## Norsk NWP

Ragnar Fjørtoft ble direktør ved Meteorologisk institutt (MI; met.no) i 1955. Han klarte å få innkjøpt den første elektroniske datamaskinen til MI i 1960 for å utføre operasjonell NWP. Med en liten gruppe medarbeidere, som arbeidet halv tid i operasjonell værvarsling og halv tid i NWP, ble modeller utviklet og operert i daglige rutiner. Den første prognosemodellen ble utviklet av Hans Økland (Økland, 1963) (senere professor ved Universitetet i Oslo). For å kunne utføre beregningene raskt nok, ble ligningene forenklet. Det ble brukt en modell med en balanse mellom vindfelt og massefelt som gjelder til en hver tid.

Det er interessant at metoden som ble brukt for å løse ligningene i tid brukes i dag i modifiserte former i de fleste modeller for værvarsling (Fjørtofts kvasi-lagranske tidsintegrasjon (Fjørtoft, 1952)). Løsningsprosedyren brukt av Richardson var en såkalt Eulersk metode, hvor beregningene utføres lokalt i hvert gitterpunkt. Alternativet er den Lagranske metode, der beregningene foretas langs partiklens baner. Den kvasi-Lagranske metoden kombinerer disse to metodene. Den sikrer lengre tidskritt og er slik mindre beregningskrevende enn den Eulerske metode. Inntil Fjørtoft ble pensjonist i 1979, hadde NWP relativt stor plass ved MI. Hans drøm var å utvikle NWP basert på ligninger der felt for masse og vind er knyttet sammen på en nøyaktig måte (mye mer nøyaktig enn i tidligere balanserte modeller). Han ble støttet av Eliassen, som var professor i meteorologi ved Universitetet i Oslo. Fjørtoft trodde at den nødvendige forskningsutviklingen kunne bli gjort på MI. Dette var en av grunnene til at Norge ikke ble med i ECMWF fra begynnelsen i 1975. Men Fjørtoft lyktes ikke med sine ideer, den nasjonale gruppen som ble satt på oppgaven var alt for liten og de nasjonale datamaskinene alt for langsomme. Norge sluttet seg derfor til det europeiske samarbeidet i ECMWF i 1989.

På 1980-tallet ble det i stedet utviklet et system for kortsiktig NWP basert på de opprinnelige ligningene til Richardson, de som Fjørtoft prøvde å unngå. Den



numeriske modellen ga prognoser på et begrenset geografisk område, med løsninger på rendene gitt fra globale modeller fra meteorologiske sentra i utlandet. Originale og effektive metoder for tidsintegrasjon og dataassimilasjon ble utviklet etter ideer av Arne Bratseth, professor ved Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo. Sigbjørn Grønås ledet arbeidet og de pensjonerte professorene Fjørtoft og Eliassen ble de beste støttespillere i utviklingsfasen. De studerte de daglige produktene og var svært imponert over resultatene. Fjørtoft sa at han aldri hadde trodd at NWP skulle nå den kvalitet han så i varslene. Eliassen uttrykte også sin begeistring og sa blant annet: «*Strukturen i værsystemene er helt lik den i atmosfæren!*»

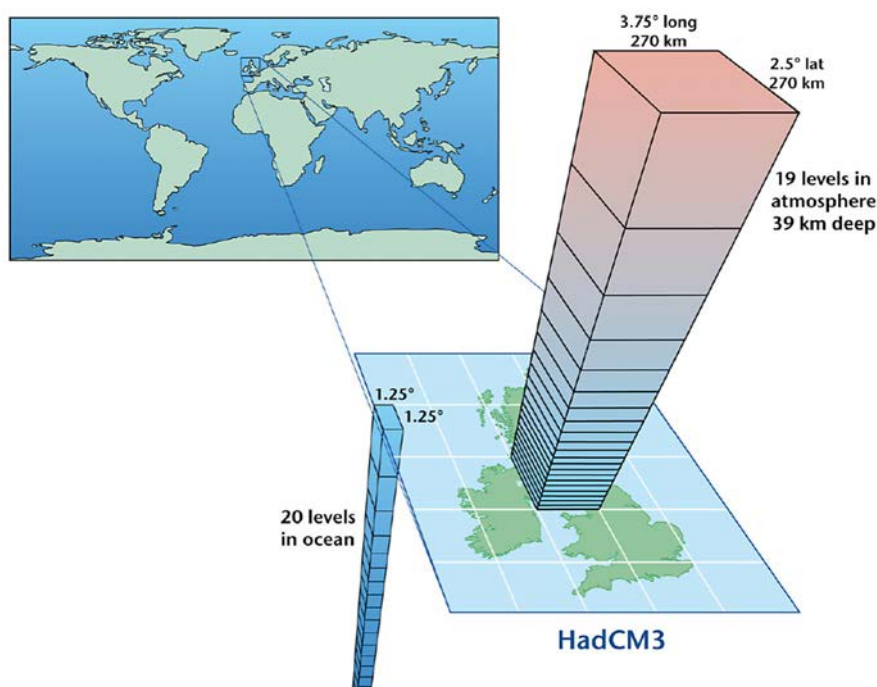
Senere ble den nasjonale aktiviteten innen NWP innlemmet i et samarbeid mellom nordiske land, Nederland, Irland og Spania, kalt HIRLAM (High Resolution Limited Area Model). ECMWF tar seg i dag av den globale varslingen, mens nasjonale rutiner bygd på HIRLAM (og andre modeller) tar seg av kortsiktig varsling. Produkter fra ECMWF blir her brukt som løsninger på randen av begrensede geografiske beregningsområder.

## Dagens værvarslingsmodeller

Som nevnt tidligere, er utgangspunktet for enhver prognose en beskrivelse av atmosfærens tilstand ved starttidspunktet. Tilstanden beskrives ved et visst antall variable - temperatur, vindkomponenter, trykk, fuktighet og skyer - i et gitter eller nett med punkter -som representerer atmosfæren. Ved ett tidspunkt har alle variable en bestemt verdi i hvert gitterpunkt i beregningsområdet, som dekker hele kloden og alle lag vertikalt. Avstanden mellom gitterpunktene bestemmer oppløsningen i modellene.

De fysiske ligningene gjør det mulig å beregne endringen i alle disse verdiene for et lite skritt fram i tid (tidsskritt), for eksempel en halv time. Når denne endringen legges til den opprinnelige tilstanden, kjenner vi tilstanden en halv time lengre fram i tid. Da kan vi fortsette prosedyren og regne oss fram en ny halvtime, osv. Dersom en ville øke oppløsningen ved å minke avstanden horisontalt mellom gitterpunktene til det halve, får vi fire ganger flere gitterpunkter rundt kloden. Om vi gjorde noe tilsvarende vertikalt, vil vi til sammen ha åtte ganger flere punkter. Ofte fører en slik bedring av oppløsningen til at tidsskrittet må halveres. Altså fører en slik økning i gitterpunktene til 16 ganger mer beregning. Jo tettere gitterpunktene er, desto mer nøyaktig blir beregningene. Men bedre oppløsning krever hurtigere beregning.

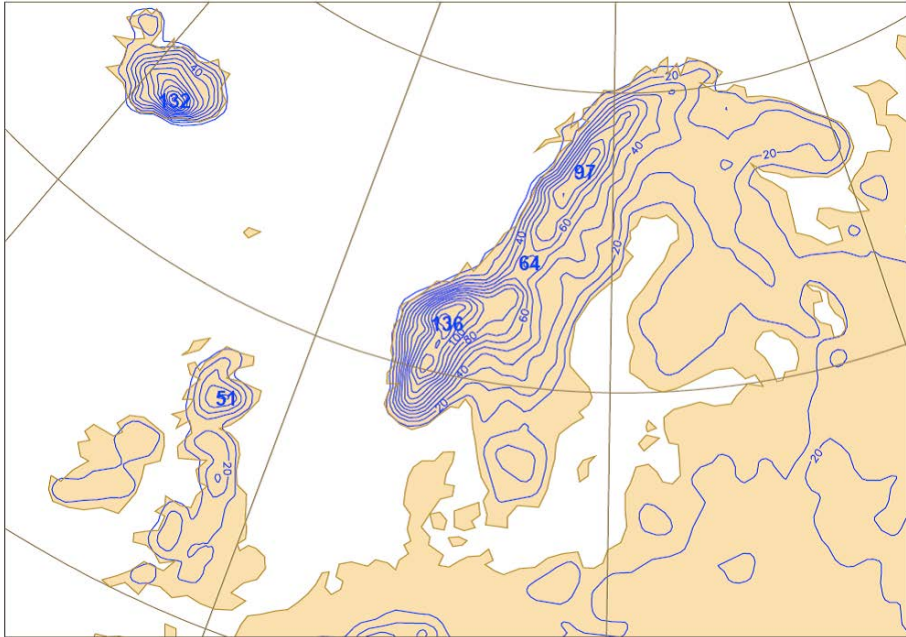
## METEOROLOGI



Figur 6.1: Illustrasjon av beregningspunkter i en klimamodell for atmosfære og hav med vertikalt og horisontalt gitter. Hadley Centre, UK, Met Office.

Derfor kan modellutviklere aldri få en supercomputer som er rask nok.

Programvaren som utfører beregningene, dvs. løser ligningene, kalles værvarslingsmodeller og klimamodeller (Fig. 6.1). Værvarslingsmodeller omfatter vanligvis bare atmosfæren, mens klimamodeller også simulerer bevegelsen i havet og vekselvirkning mellom atmosfære og hav. I prinsippet har værvarslingsmodeller og klimamodeller lik struktur og samme løsningsmetoder. Siden begge typer modeller utnytter den regnekapasitet som er tilgjengelig, er den romlige oppløsningen best i værvarslingsmodeller. I værvarsling kjøres globale modeller gjerne 10 dager fram (Fig. 6.2). Ved ECMWF ble det våren 2016 innført 9 km mellom beregningspunktene horisontalt. Beregningstid til rådighet er av størrelsesorden en time. Klimamodeller regner ofte flere hundre år fram og benytter gjerne cirka 100 km mellom gitterpunktene.

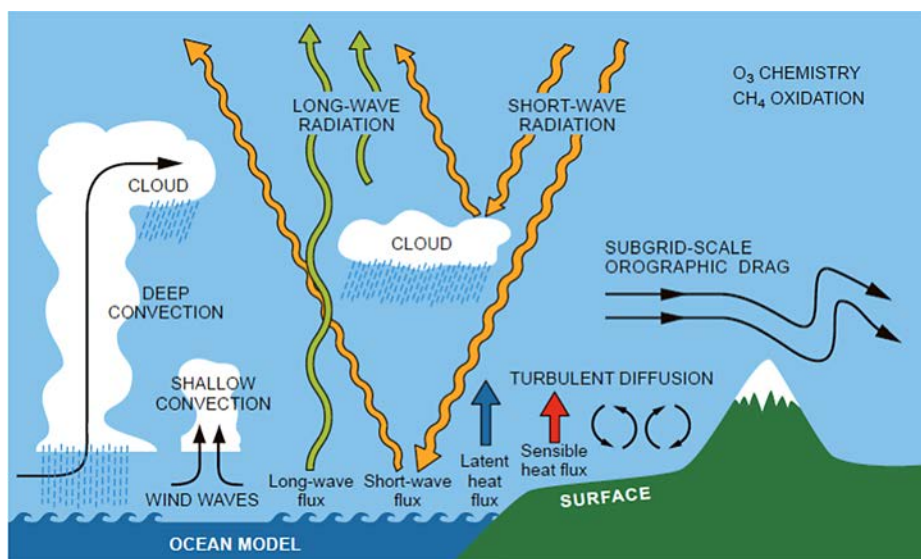


Figur 6.2: Topografi (dekameter) i en modell med cirka 40 km mellom gitterpunktene. ECMWF.

Beregningstiden kan noen ganger være flere uker.

Det sier seg selv at modellene, som simulerer bevegelsen i atmosfære og hav, er kompliserte. Alle relevante fysiske prosesser er med; slik som kortbølget og langbølget stråling, skyer og nedbørprosesser, turbulens med flukser av bevegelsesmengde og varme for ulike typer overflater, drag fra fjell på mindre skala enn den som løses opp, varme og fuktighetstransport ned i jorda, prosesser i snø og is, avrenning til havet etc. (Fig. 6.3). Noen tror at bare ved å skru på fysiske konstanter som inngår, kan en tilpasse resultatene for å få fram det som observasjoner gir. Men dette er ikke tilfelle og heller ikke mulig. Bare fysiske konstanter inngår, slik som tyngdens akselerasjon og varmekonstanter som varmekapasiteter. Modellene simulerer hele klimasystemet med så realistiske prosesser som mulig i tid og rom, uavhengig av nye målinger som måtte være tilgjengelige.

I moderne værvarsling er det en formidabel oppgave å bestemme tilstanden ved et

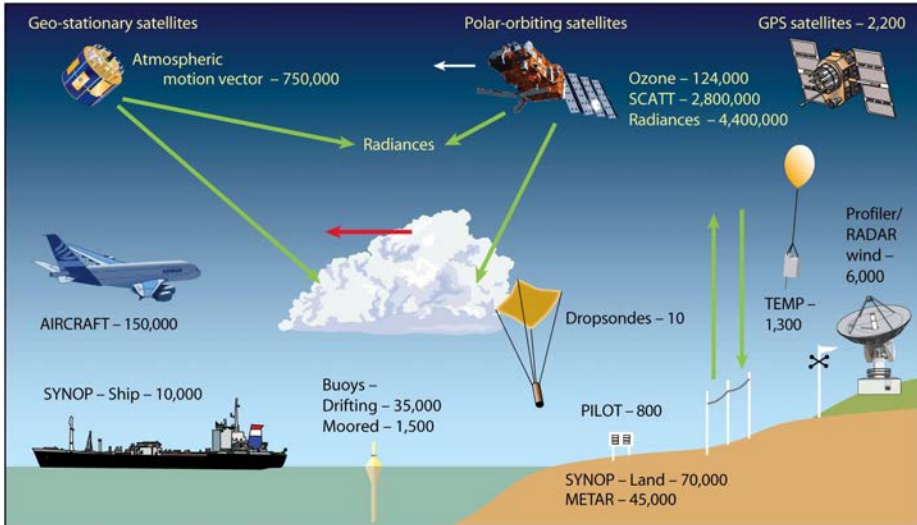


Figur 6.3: Fysiske prosesser i atmosfæren som er med i en værvarslingsmodell. ECMWF.

tidspunkt. Til dette brukes en kortsiktig prognose fra forrige gang tilstanden ble oppdatert, for eksempel seks timer tidligere. Denne prognosen bærer med seg kunnskap fra dette forrige tidspunktet. Så oppdateres denne prognosen med de siste observasjonene. Det er mange observasjonstyper, målt både fra jorda og satellitter (Fig. 6.4). Til dels brukes direkte observasjoner av en variabel, for eksempel vind. Dels brukes indirekte målinger som for eksempel stråling fra atmosfæren målt fra en satellitt. Noen ganger vil nye observasjoner vise at prognosen har visse feil. I så fall prøver en å føre denne kunnskapen tilbake til forrige analyse slik at den kan bli oppdatert og ny forbedret prognose beregnet. Til sammen utgjør beregningene et gigantisk estimeringsproblem der analysene passer best mulig sammen med observasjonene og med oppdaterte prognoser fra forrige tidspunkt. Oppgaven kalles *dataassimilasjon*.

## Forutsigbarhet for værvarsling

Da Bjerknes skrev sin berømte artikkel var determinismen populær som en filosofisk retning, som noe forenklet sier at universet utvikler seg på en lovbestemt måte, dvs.



Figur 6.4: Observasjoner i atmosfæren og fra satellitter som brukes av ECMWF.

slik at utviklingen er forutbestemt. Bjerknes' arbeid passet godt inn i deterministisk tenkning. Dersom atmosfærens tilstand kunne bestemmes i detalj ved ett tidspunkt ved målinger, skulle det i prinsippet være mulig å beregne været fram for all framtid, dvs. så lenge de ytre pådrivene på klimaet – slik som endringer i solstrålingen – er kjente. En tenkte seg nærmest at det var mulig å lage en kalender for været dag for dag. Selv om Bjerknes hadde enorm tro på vitenskapens muligheter, var han mer nøktern. I 1904 skrev han tre lange avisartikler i Aftenposten om problemet værvarsling (Bjerknes, 1904 II). Han hadde med det som sto i artikkelen publisert i Wien, men også mer forklaring for den vanlige leser som Bjerknes hadde stor tiltro til. I den siste artikkelen i Aftenposten mener han at det vil bli mulig å varsle været i detalj et par uker fram. Videre ser han for seg sesongvarsler, igjen basert på modellberegninger av atmosfære og hav, med utsagn som at neste årstid vil bli kaldere/varmere, våtere/tørre, mer stormfull/roligere enn normalt. Vi har ikke nådd de mål Bjerknes så for seg, men hans visjoner er omtrent det dagens meteorologer ser som en mulighet på sikt.

Dersom noen hadde drømmer om værkalendere, fikk de en alvorlig knekk like etter 1960. Da viste den amerikanske meteorolog og norgesvenn Edward N. Lorenz

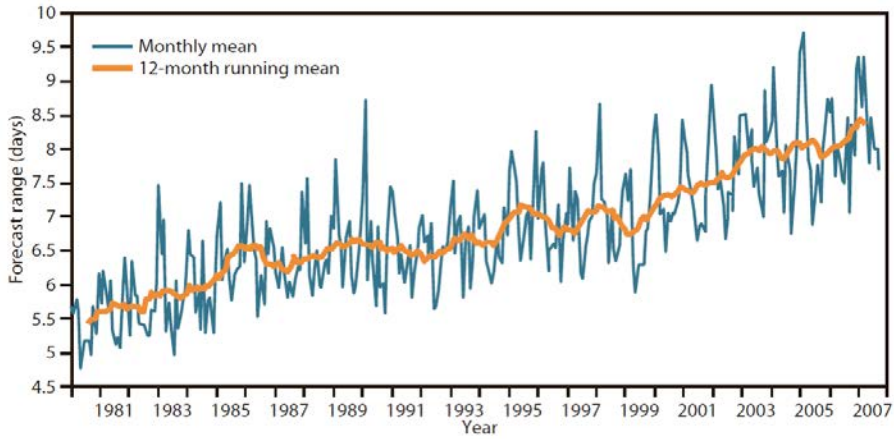
## METEOROLOGI

at selv ørsmå feil i starttilstanden etter hvert vil få betydning for prognosene (Lorenz, 1963). Han beregnet framtidige tilstander fra en utgangstilstand i et svært enkelt dynamisk system. Utgangsanalysen besto av tre tall som kan tolkes som koordinatene for et punkt i rommet. Disse tre tallene leste han inn i sin programvare med tre desimalers nøyaktighet. Datamaskinen regnet med sju desimalers nøyaktighet, dvs. fjerde, femte, sjette og sjuende desimal ble tilfeldig satt i analysen. Han gjorde en beregning for en tidsutvikling for systemet. Men da han gjentok beregningen etter en lunsjpause, så han at resultatet ble forskjellig et stykke ut i prosessen, og at forløpet etter hvert ble helt ulikt det han beregnet før lunsj. Han fant at de små og tilsynelatende ubetydelige forskjellene i utgangstillene var årsaken. Hans oppdagelser førte til det vi kaller kaosteori.

Anvendt på værvarsling betyr dette at dersom en værvarslingsmodell kjøres to ganger fra analyser for samme tidspunkt som er nesten like, kan prognosene etter hvert bli helt forskjellige. Det forutsettes at begge analysene passer med de observasjoner som fins. Forskjellene skyldes bare små feil i observasjonene og/eller mangelfull dekning. Små forskjeller på et sensitivt sted i analysene vil vokse raskt i tid og etter hvert kunne dominere utviklingen. Dette betyr at det er grenser for hvor langt fram været kan varsles, dvs. det er teoretiske grenser for hvor stor *forutsigbarhet* det er for værvarsling. Samme hvor mange nøyaktige observasjoner og raske superdatamaskiner en har til rådighet, etter en viss tid vil varslet være helt misvisende.

I de enkle, men ikke-lineære ligningene som Lorenz løste, inngår det også tre konstanter. Han viste at på samme måte som små feil i utgangsanalysen etter hvert ødela prognosen, ville små unøyaktigheter i spesifiseringen av disse konstantene ha samme effekt. I værvarslingsmodeller vil det alltid være bevegelser og fysiske prosesser som ikke løses opp i det gitteret som brukes. Disse prosessene må uttrykkes ved de tilstander som beskrives. Dette kalles parameterisering av prosesser på liten skala. Lorenz' enkle beregninger demonstrerer at små feil i slike *parameteriseringer* etter hvert vil ødelegge prognosene som værvarslingsmodeller gir. Ensemblevarsling, som forklart tidligere, er derfor blitt innført.

Tankene til Ed Lorenz er blitt anvendt på svært mange forskningsfelt, også innen filosofi og teologi. En kan si at hans forskning har forandret måten vi tenker på. Tidligere ble fysikk sett på som en eksakt vitenskap, for eksempel i motsetning til meteorologi som i praksis alltid har vært en ikke-eksakt vitenskap. Da Vilhelm Bjerknes svært mange ganger ble innstilt til Nobelprisen i fysikk, var hovedanklagen mot ham



Figur 6.5: Økning i forutsigbarhet for værvarsling ved ECMWF siden dette senteret startet operasjonell værvarsling i 1979.

at han ikke representerte en eksakt vitenskap. I fysikkåret 2005 ble tre oppdagelser i det siste hundre år vurdert som de viktigste: Einsteins relativitetsteori, kvantefysikken og kaosteorien. Med kaosteorien er heller ikke fysikk nødvendigvis en eksakt vitenskap.

## Forutsigbarhet for værvarsling

En ventet lenge på at Lorenz skulle få Nobelprisen i fysikk. Men i april 2008 døde han 90 år gammel (Grønås, 2008). Det store intellektet hadde han – forskningsproduksjonen og banebrytende resultater – men han var kanskje for beskjeden som menneske.

På tross av de teoretiske begrensingene som kaosteorien setter for forutsigbarhet, er det imponerende hva værvarslingsmodeller kan utføre. De kan forutsi utvikling av sterke lavtrykk flere dager før de oppstår. Slike utviklinger innebærer en utløsning av det vi har kalt *baroklin instabilitet*, en komplisert prosess der små impulser kan vokse raskt. Et lavtrykk kan ses på som en sirkulasjon der horisontale *Rossbybølger* ved *tropopausen* vekselvirker med tilsvarende bølger ved overflaten. I denne prosessen

oppstår sekundære vertikale sirkulasjoner knyttet til fronter der fuktighetsforholdene og frigjøring av latent varme spiller en stor rolle. Modellene simulerer frigjøringen av latent varme godt, i kraftige lavtrykk kan den stå for over halvparten av utviklingen.

Modellene danner skyer og utløser nedbør, prosesser som omfatter romskalaer fra mikrometer til tusen kilometer. Nedbørmengdene stemmer forbausende godt overens med observasjoner. Meteorologisk institutt har spesielle rutiner med varsling av *ekstremvær*, slik som vindstyrker eller nedbørmengder over visse terskler. Det er imponerende hvor godt modellene har varslet slike situasjoner de siste årene. Dette skyldes nok delvis dyktig overvåking av været utført av varslingsmeteorologene, men modellenes varslingsevne teller mest. Modellenes suksess skyldes bedre oppløsning, bedre fysisk parameterisering av prosesser på liten skala og forbedret dataassimilasjonen. ECMWF har vært ledende i verden på NWP i mange tiår. Forutsigbarhet kan defineres som antall dager det kan varsles (Fig. 6.5). I de siste tiår har denne forutsigbarheten økt fra 4 til nesten 7 dager med cirka 1 dag per tiår (Erland Källen, forskningssjef ECMWF, juni 2016, foredrag i Bergen).

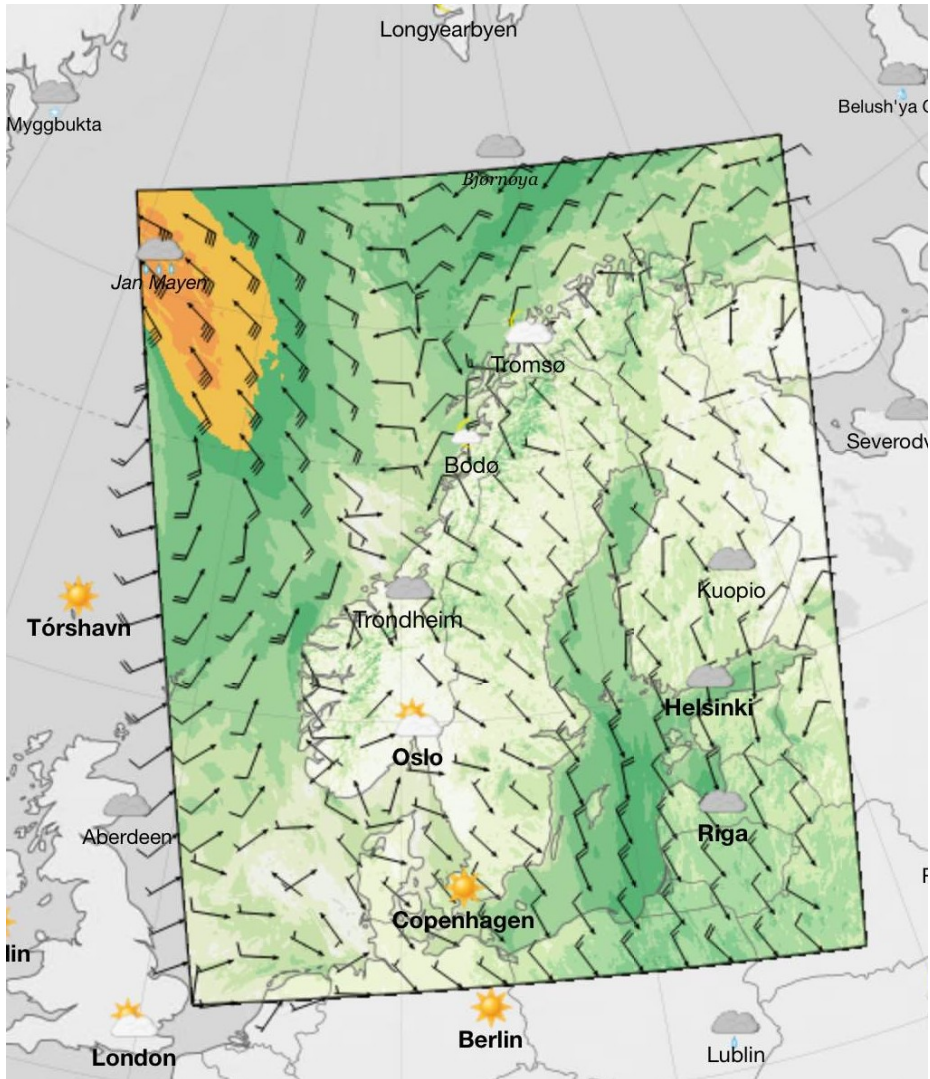
Som nevnt hadde Vilhelm Bjerknes i 1904 stor forventning til framtidig sesongvarsling, ved å bruke modeller for både atmosfære og hav. Han skriver: «de teoretiske metoder, som jeg her har utviklet med anvendelse paa luften, vil faa nøiaktig samme anvendelse paa havet.» De store værvarslingssentrene som ECMWF, driver i dag sesongvarsling og forskning med et mål om å kunne varsle slik Bjerknes antydte. De bruker globale numeriske modeller som kople atmosfære og hav og som integreres ett år eller to fram i tid. Modellene viser noe forutsigbarhet for tropene for fenomen som El Niño, men for våre bredder er forutsigbarheten bare lite forskjellig fra null.

De koplede modellene er i de siste tiårene blitt brukt til å lage scenarier for klimaendringer. Rent teoretisk er prediktabiliteten for klimaendringer en helt annen enn den kaosteorien gir for værvarsling.

## Om YR – Værvarsling på nett

Utviklingen av numerisk værvarsling har skjedd i takt med utviklingen av superdatamaskiner. Den økte datakraften har åpnet for mulighetene til å beregne værutviklingen i større detalj i de numeriske modellene med et finere gitter i alle retninger. Fysiske prosesser kan beskrives direkte, og flere terrengdetaljer tas med i beregningene. Resultatet er et stort datamateriale som blir generert opp til fire ganger per dag.





Figur 6.6: Beregningsområde for dagens norske modell for kortsiktig varsling. Meteorologisk institutt. Vindpilene er vist for hvert 50. gitterpunkt. Styrken er angitt ved et visst antall hele skråstreker hvor hver strek angir 10 knop, og eventuelt en halv strek som angir 5 knop. Vinden ved Jan Mayen har styrke 35 knop.

## METEOROLOGI

Direktør Anton Eliassen (direktør 2000–2016) ved Meteorologisk institutt har vært en pådriver når det gjelder å gjøre disse dataene tilgjengelig for allmennheten på nett. Han var trolig den første som gjorde dette på vegne av ett land. De mest brukte kanalene for distribusjon av værmeldinger til nå – radio og TV – har bare mulighet til å formidle en brøkdel av den tilgjengelige værinformasjonen. Spredning via internett åpner for nye muligheter. I 2006 startet Meteorologisk institutt og NRK et strategisk samarbeid for å utvikle et værformidlingssystem der brukerne selv kunne velge værinformasjon etter eget behov. Systemet ble tatt i bruk i 2007 og fikk navnet YR. Systemet er blitt populært og har opp til 10 millioner oppslag hver uke. Det meste er fra utlandet der folk som regel må betale for personlig værinformasjon.

Prognosedataene fra ECMWF og Meteorologisk institutt danner grunnlaget for YR. Siden dataene fra ECMWF foreligger i et globalt rutenett, kan det fremstilles værsymboler og tallverdier for et vilkårlig sted på jorda. I tillegg kreves en kartdatabase for å kunne finne været på et valgt geografisk sted gitt ved dets navn.

For Norge og nærliggende områder (se fig. 6.6) brukes en prognosemodell (Met-CoOp) som er utviklet av Meteorologisk institutt i samarbeid med flere europeiske land. Modellen kjøres fire ganger daglig i samarbeid med det svenske meteorologiske og hydrologiske institutt (SMHI) på en superdatamaskin i Linköping. Den beregner prognoser 3 døgn fram i et gitter med 2,5 km mellom hvert datapunkt. Værprognoser lenger fram i tid og for øvrige områder i Europa og resten av verden beregnes ved ECMWF. De presenteres for 10 døgn og oppdateres to ganger daglig. I beregningene av starttilstanden (analysen) inngår det daglig 40 millioner observasjoner fra satellitt- og bakkebaserte instrumenter.

De rene modelldataene etterbehandles av MI før de presenteres på YR. For de grafiske varslene gjelder dette temperatur, nedbør, vind, skydekke og torden. Etterbehandlingen reduserer feilvarsler fra modellen, f.eks. ved lokal tilpasning mellom virkelig høyde og modellhøyde, eller ved å benytte helt ferske lokale observasjoner til å korrigere varslene. Beregninger av skydekke, nedbør og temperatur benyttes til å lage værsymboler som en del av presentasjonen av værvarslet.

Det er store mengder data som skal samles, beregnes og etterbehandles når en værvarslingsmodell benyttes. Denne prosessen tar tid. Prognoseberegningen alene frem til 3 døgn tar ca. 45 minutter på superdatamaskinen.

YR overvåkes hele tiden av meteorologer. De skriver sine farevarsler, tekstvarsler og twittermeldinger (se fig. 6.7). De grafiske varslene genereres direkte fra de nume-

Værvarsel for **Trondheim (Sør-Trøndelag)**

Sist oppdatert kl 23:50. Ny oppdatering ca. kl 6:00

Legg til mine steder Værvarsel som PDF

**OBS-varsel for Møre og Romsdal og Trøndelag:** Fredag og lørdag ventes vanskelige kjøreforhold på fjellovergangene på grunn av sterk vestvind, snøbyger og snøfokk.

**I dag, lørdag 29.10.2016**

Tid	Varsel	Temp.	Nedbør	Vind
kl 1-6		6°	0,5 – 4,0 mm	↙ Laber bris, 7 m/s fra vest
kl 6-12		6°	1,9 – 5,4 mm	↙ Laber bris, 6 m/s fra vest
kl 12-18		8°	2,3 – 6,9 mm	↙ Frisk bris, 9 m/s fra vest
kl 18-24		8°	0,5 – 3,0 mm	↙ Laber bris, 6 m/s fra nordvest

**I morgen, søndag 30.10.2016**

Tid	Varsel	Temp.	Nedbør	Vind
kl 0-5		7°	0 – 1,0 mm	↙ Laber bris, 6 m/s fra vest
kl 6-12		6°	0 – 0,5 mm	↙ Lett bris, 5 m/s fra vest
kl 12-18		6°	0 – 0,4 mm	↙ Svak vind, 3 m/s fra sør-sørvest
kl 18-24		4°	0 mm	↙ Svak vind, 2 m/s fra sør-sørvest

**Mandag, 31.10.2016**

Tid	Varsel	Temp.	Nedbør	Vind
kl 0-6		2°	1,7 – 2,4 mm	↙ Svak vind, 2 m/s fra sør-sørvest
kl 6-12		3°	5,6 – 7,5 mm	↙ Flau vind, 1 m/s fra sør-sørvest
kl 13-19		8°	3,0 mm	↙ Svak vind, 3 m/s fra sør-sørvest
kl 19-1		7°	2,7 mm	↙ Svak vind, 2 m/s fra sør

Værssymbolet gjelder for hele perioden, temperatur- og vindvarselet er for det første tidspunktet. [Slik forstår du varslene på Yr.](#)

**Observasjoner fra de nærmeste målestasjonene**

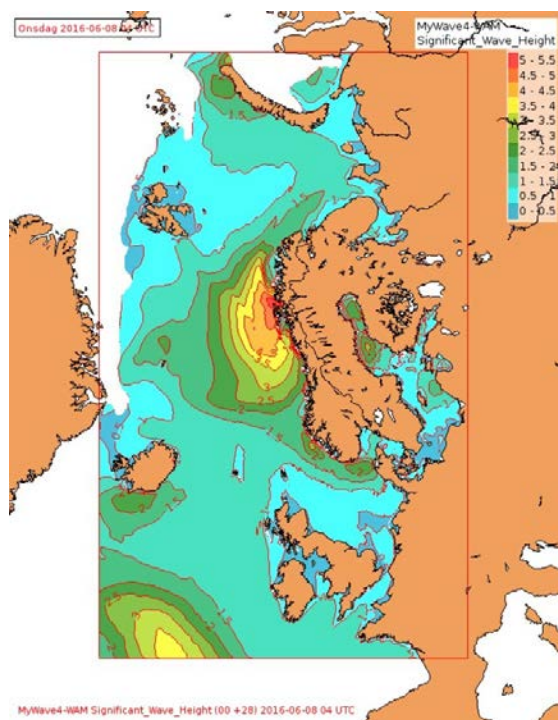
Trondheim (Voll) målestasjon, 127 moh. 3,7 km fra Trondheim

Vær	Temp.	Vind	Temperatur siste 30 dager
	3,8°	↙ Lett bris, 4,3 m/s fra sørvest	

**Meteorologene på Twitter**

**Mappe**

Figur 6.7: Eksempel på presentasjon av værvarsel i YR. Meteorologisk institutt.



Figur 6.8: Kart fra YR som viser prognose av signifikant bølgehøyde (m) med 0,5 m mellom isolinjene. Meteorologisk institutt. Maksimum høyde utenfor Nord-Norge er 5 m.

riske modellene og kan velges fritt for steder over hele verden, mens meteorologenes vurdering og oppsummering av vær-situasjonen omkring Norge er vist som tekst og eventuelle faresymboler. På denne måten får brukeren tilgang til alle detaljene i vær-situasjonen på et ønsket sted. Brukeren kan også studere den viktigste utviklingen i et større område omkring.

I tillegg til varsler om kommende vær, finnes det også mange observasjoner av aktuelt vær og det som har vært. Her kan det spesielt nevnes radaranimasjoner som viser hvordan nedbørsområder og regnbyger har beveget seg de siste timene. Radarene dekker det meste av Norge og viser detaljer som prognosemodellene kan ha vanskelig for å beregne. Tilsvarende animasjoner er vist med grunnlag i satellittbilder fra geostasjonære satellitter. De viser skyer som beveger seg over store hav- og landområder. Målestasjoner på land viser mer standard meteorologiske observasjoner som temperatur, vind, skyer og nedbør.

Angivelse av usikkerhet er en viktig del av værvarselet. For prognoser over 2 døgn

anvendes ensemble-varslere fra ECMWF. En stor spredning i disse varslene fra samme starttidspunkt viser at værutviklingen er usikker. Spredningen er vist på grafer for temperatur og nedbør. Det beregnes også prognoser for marine forhold langs norskekysten og havområdet utenfor. Fig. 6.8 viser prognose for bølgehøyde. Tilsvarende prognoser lages også for vannstand (tidevann og stormflo), strøm, vanntemperatur og saltinnhold.

## Oppgaver framover

Modellsystemet til Meteorologisk institutt bygger på analyser og prognoser fra ECMWF. Bedre oppløsning i det norske opplegget gir spesielt bedre varsling av strøm over fjell og kysteffekter (forsterket vind, vindskygger, brytende lebølger, kyststrå etc.). Det er behov for å identifisere hva som varsles av slike effekter og verifisere mot observasjoner. I mange tilfeller vil bakkeobservasjoner (typisk avstand på cirka 40 km) ikke egne seg. Det anbefales å bruke et tettere nett med spesialmålinger over kortere perioder.

Vi antar at vi etter hvert vil få tilgang til hurtigere superdatamaskiner. Da kan varslingen bedres ved at gitteravstanden i modellene minskes. Bedre oppløsning av fjell og kyster vil da spesielt gi bedre varsling av strøm over fjell og kysteffekter.

I dag lager ikke Meteorologisk institutt egne analyser, men bruker analyser fra ECMWF. Egen dataassimilasjon kan potensielt forbedre varslingen.

## Referanser

Bjerknes, V. (1904). *Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik and der Physik*. Meteorologische Zeitschrift, Wien, 21, 1–7, I.

Bjerknes, V. (1904). *Veirforudsigelser og mulighederne til at forbedre dem*. Aftenposten 8.–10. januar. (Aftenposten skrev i gotisk skrift. En oversettelse til vanlig skrift og en versjon på engelsk finnes på websidene til Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen.), II.

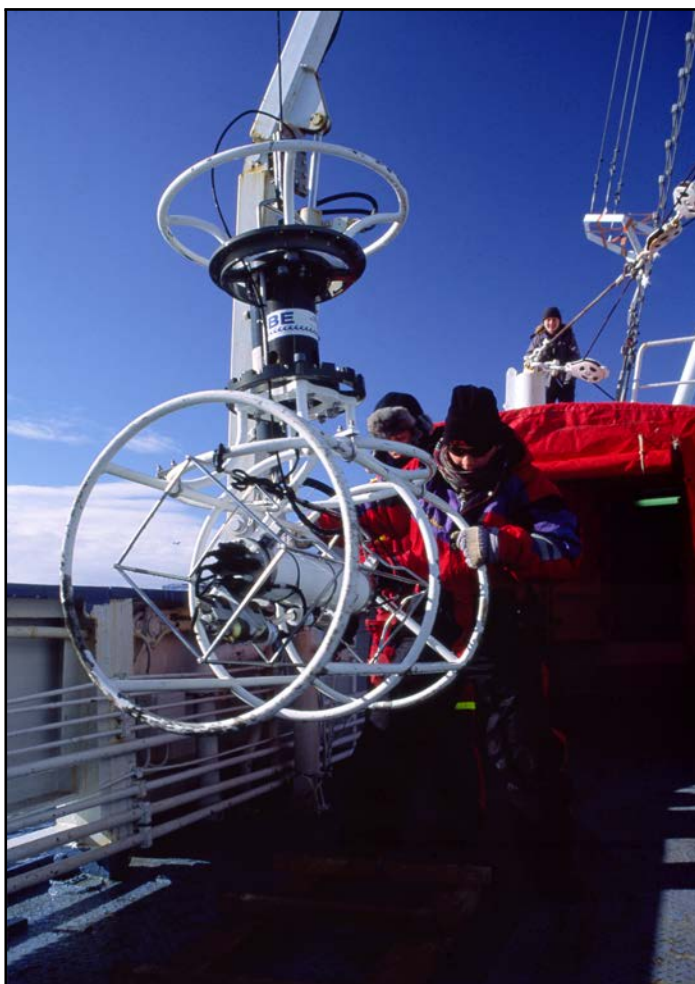
Bjerknes, V. *Meteorology as an exact science*. Translation of «Die Meteorologie als exakte Wissenschaft. Antrittsvorlesung gehalten am 8. Jan 1913 in der Aula der Universität Leipzig.» Mon. Wea. Rev., 42, 11–14.

## METEOROLOGI

- Charney, J.G., R. Fjørtoft, and J. von Neumann (1950). *Numerical integration of the barotropic vorticity equation*. *Tellus*, 2, 237–254.
- Eliassen, A. (1994). *Vilhelm Bjerknes' early studies of atmospheric motions and their connection with the cyclone model of the Bergen School*. i «The Life Cycles of Extratropical Cyclones», (M. Shapiro and S. Grønås, Eds) American Meteorological Society, Boston, pp 5–13.
- Fjørtoft, R. (1952). *On a numerical method of integrating the barotropic vorticity equation*. *Tellus*, 4, 3.
- Godske, C.L. (1956). *Hvordan blir været?* J.W Cappelen's forlag, Oslo, 258 sider.
- Grønås, S. (2005). *Vilhelm Bjerknes' Vision for Scientific Weather Prediction*. i «Geophysical Monograph Series 158. The Nordic Seas: An Integrated Perspective; Oceanography, Climatology, Biogeochemistry and Modeling.» Eds H. Drange et al. American Geophysical Union.
- Grønås, S. (2008). *Kaosteorien far er død*. <http://www.forskning.no/artikler/2008/april/180376>.
- Helmholtz, H. von (1884). *Wirbelstürme und Gewitter*. Vorträge u. Reden, 2, p. 141, Braunschweig.
- Lorenz, E. (1963). *Deterministic non-periodic flow*. *J. Atmos. Sci.* 20, 130–141.
- Lynch, P. (2007). *The Emergence of Numerical Weather Prediction: Richardson's Dream*. Cambridge.
- Lynch, P. (1994). *Richardson's marvellous forecast*. i «The Life Cycles of Extratropical Cyclones» (M. Shapiro and S. Grønås, Eds), American Meteorological Society, Boston, pp 61–73.
- Richardson, L.F. (1922). *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge University Press. (Reprinted by Dover Publications, New York, 1965, with a new introduction by Sydney Chapman).
- Økland, H. (1963). *The operational forecasting model used in the Norwegian meteorological service*. *Tellus*, 3, 280–283.

# Kapittel 7 — Oseanografi

Av PETER HAUGAN



Forrige side:  
CTD-målinger i Fram-stredet fra Norsk Polarinstitutt's skip  
Lance. Foto: Njål Gulbrandsen



## Forhistorie og utvikling fram mot 1917

Den tidlige historien for oseanografi inkludert biologisk oseanografi i Norge er beskrevet av Sakshaug og Mosby (1976). Utforskende marin zoologi og marin botanikk langs kysten, klassifisering og beskrivelse av artene sto i fokus de første årene både i den førvitenskapelige perioden og opplysningstiden. Etterhvert som fiskeribiologi ble utviklet som et fag utover 1800-tallet steg også interessen for fiskerienes naturgrunnlag og dermed hydrografiske forhold<sup>1</sup>. Oseanografi som geofysisk fag i Norge har dermed en forholdsvis kort historie med start på siste halvdel av 1800-tallet.

Jonas Axel Boeck (1833–1873) ble universitetsstipendiat i 1864 og drev praktisk-vitenskapelige undersøkelser av sildefisket. I 1871 utga han en avhandling der han trakk inn miljøfaktorer for å forklare sildas utbredelse fra Bohuslän til Nordland. Mens G.O. Sars, G.M. Dannevig og andre zoologer og etterhvert botanikere ble mer kjent innen marinbiologi og fiskeribiologi bl.a. med studier av torskefisket, kan Boeck regnes som en tidlig marin økolog. Man kan også si at Fridtjof Nansen (1861–1930) personifiserte fremveksten av fysisk oseanografi fra et marint forskningsmiljø dominert av biologi. Han tok doktorgrad på slimålens nervesystem i 1882 og praktiserte som marin zoolog i noen år før han via polar utforskning skulle komme tilbake som en svært betydningsfull fysisk oseanograf fra ca 1900 med Nordens første professorat i oseanografi fra 1908.

I en kortfattet oversikt over oseanografi som geofysisk fag i Norge er det naturlig å starte med «Den norske Nordhavsekspedisjon» med D/S «Vøringen» 1872–1876 og med Henrik Mohn (1835–1916). Mohn ble professor i meteorologi i 1866 og bestyrte det nyopprettede Meteorologisk Institutt fra samme år og frem til sin død 50 år seinere. Han kan sies å være grunnlegger både av meteorologi og fysisk oseanografi i Norge, noe som også understreker de nære faglige båndene mellom disse to fagene. Samarbeid mellom Henrik Mohn og G.O. Sars og en videreføring av Boecks studier av silda, førte til statsbevilgning til den såkalte Nordhavsekspedisjonen. Den gikk i hovedsak

---

<sup>1</sup>Ordet hydrografi brukes her om undersøkelser av temperatur, salt og oksygen-fordeling i vannmassene. Oseanografer samler inn slike hydrografiske data. Ordet hydrografi kan også bety undersøkelser av dybdeforhold. Den internasjonale hydrografiske organisasjon (IHO) med sekretariat i Monaco siden 1921 har som målsetning å sørge for bunnkartlegging i alle havområder i verden. IHO samarbeider med den mellomstatlige havkommisjonen (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC) som er en del av UNESCO og har til oppgave å fremme mellomstatlig samarbeid innen oseanografi og relaterte tjenester.



Figur 7.1: Biologisk stasjon ved Puddefjorden i Bergen ble tatt i bruk i 1892 og var landets eldste. Den var i bruk til 1918. I 1922 ble den erstattet av en ny stasjon på Herdla. Foto: UiB

til det området vi i Norge i dag kaller Norskehavet, og som nå heter the Norwegian Sea i internasjonal litteratur, men som svenske kolleger fortsatt iblant omtaler som Norrhavet. I tillegg til naturvitenskapelig nysgjerrighet og næringsinteresser knyttet til fiskerier var det nok også en god del nasjonsbygging og selvhevdelse knyttet til fremveksten av forskning i Norge på denne tiden.

Fridtjof Nansens «Fram»-ekspedisjon 1893–1896 og fiskeriundersøkelser med «Michael Sars» fra 1900 brakte nye hydrografiske observasjoner fra store havområder og et rikt materiale for fysisk oseanografisk forskning. Forholdene lå derfor godt til rette for å utvikle denne disiplinen i Norge. Bjørn Helland-Hansen (1877–1957) ble ansatt som hydrograf ved fiskeristyrelsen. I 1906 ble han, som selv slett ikke var biolog, bestyrer av Biologisk Stasjon i Bergen (Fig.7.1). Stasjonen lå ved Puddefjorden ikke langt fra tomten der Geofysisk institutt senere ble bygget og nær Marineholmen der flere nybygg idag huser et stort og økende antall marine forskere fra flere institusjoner.

Det internasjonale råd for havforskning (ICES) ble etablert i Danmark i 1902 med et Centrallaboratorium i Christiania ledet av Nansen fram til 1908 og senere flyttet til Danmark. Martin Knudsens «Hydrografiske tabeller» fra 1901 var grunnlaget for en forbedring av metodene for å beregne tetthet av sjøvann med tilstrekkelig nøyaktighet til å gjøre dynamiske beregninger. Faget fysisk oseanografi gjennomgikk i årene fram mot 1917 en rivende utvikling i overgangen fra en ren empirisk vitenskap (deskriptiv oseanografi) til å også utvikle en teoretisk gren (dynamisk oseanografi).

I et meget aktivt nordisk forskningsmiljø tidlig på 1900-tallet begynte også utviklingen av strømmålere. Svensken Vagn Walfrid Ekman (1874–1954) ble en hyppig gjest

i Bergen gjennom flere tiår. Hans Ekman spiral, Ekmantransport og Ekman sirkulasjon utledet etter inspirasjon av Nansens observasjoner av isdrift er idag sentrale elementer i grunnundervisning i oseanografi overalt i verden. Johan Wilhelm Sandstrøm (1874-1947) bidro bl.a. med det som er blitt klassiske eksperimenter innen tetthetsdrevet (termohalin) sirkulasjon. Sammen med Helland-Hansen utviklet han også det som lenge ble kalt Helland-Hansens strømformel til beregning av det vi idag kaller baroklin geostrofisk strøm fra hydrografiske snitt. Dette var inspirert av teoriutviklingen av Vilhelm Bjerknes. Sandstrøm var også med på stiftelsesmøtet for Norsk Geofysisk forening i 1917 sammen med Helland-Hansen og Harald Ulrik Sverdrup (1888-1957) som representanter for oseanografien.

I Bergen hadde Helland-Hansen fra 1912 til disposisjon verdens minste havgående forskningsfartøy (75 fot) «Armauer Hansen» og drev internasjonale kurs som skulle få stor betydning for den sentrale posisjon som dette miljøet fikk i internasjonal fysisk oseanografi og havforskning generelt i årene fremover. Helland-Hansen hadde også sørget for at Biologisk Stasjon hadde fått en assistent Thorbjørn Gaarder (1885-1970) som var kyndig (bio-)kjemiker. Dette kan kanskje regnes som den første stillingen i kjemisk oseanografi i Norge.

I forbindelse med oseanografi i forhold til Norsk Geofysisk Forening er det naturlig å konsentrere seg om virksomhet i de geofysiske fagmiljøene. Fagretningene biologisk og geologisk oseanografi faller da utenom. Marin kjemi faller også utenom, men kjemisk oseanografi som bl.a. har hatt ny vekst ved Geofysisk institutt i Bergen de siste 20 år regnes med. Oseanografien er i IUGG<sup>2</sup> representert ved IAPSO<sup>3</sup>, men ICSU<sup>4</sup> har også en tverrfaglig Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) der norske oseanografer også har spilt en rolle. Oseanografi er derfor et fag med mange kopleingspunkter både innenfor geofysikk, særlig mot meteorologi, og mot de fleste andre marine fag.

---

<sup>2</sup>International Union of Geodesy and Geophysics.

<sup>3</sup>International Association for the Physical Sciences of the Ocean

<sup>4</sup>ICSU, International Council for Science (tidligere kalt International Council of Scientific Unions) er moderorganisasjon for nasjonale vitenskapsakademier, vitenskapelige disiplinære foreninger som IUGG og tematiske tverrfaglige organisasjoner som SCOR. I 2017 foregår det forøvrig en prosess for sammenslåing av ICSU og International Social Science Council (ISSC).

## Utviklingen og noen høydepunkter 1917–2017

Opprettelsen av Norsk Geofysisk forening falt i tid sammen med opprettelsen av Geofysisk institutt i Bergen. Dette instituttet ble til ved å omgjøre det som hadde vært en hydrografisk avdeling ved Biologisk stasjon fra 1911 til et eget institutt under Bergens Museum. I tillegg til oseanografi skulle instituttet også ha en avdeling for meteorologi (avdeling B) og en for jordmagnetisme og kosmisk geofysikk (C). Helland-Hansen hadde foreslått dette i 1915. Initiativet skjøt fart og fikk stor kraft da det lyktes å få Vilhelm Bjerknes til å forlate sin stilling i Leipzig og komme til Bergen i 1917 som leder for avdeling B. Historikerne Hovland (2007) og Haaland (1996) diskuterer mange interessante nasjonale og regionale politiske aspekter ved denne institusjonsbyggingen.

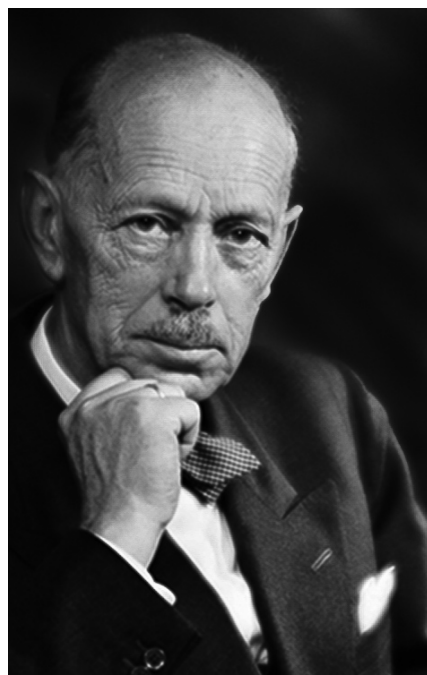
Avdeling C kom først igang i 1928 da Ole A Krogness ble ansatt som professor. Virksomheten i jordmagnetisme og kosmisk fysikk har senere blitt flyttet til andre institutter ved UiB. Men oseanografi og meteorologi har nå i 100 år hatt et svært tett forhold i Bergen. Fagmiljøet har blitt ytterligere styrket ved at Vervarslinga på Vestlandet som regionkontor for Meteorologisk institutt, er samlokalisert med instituttet. Det aktive samspillet mellom oseanografi og meteorologi illustreres bl.a. ved de mange personene som gikk mellom stillinger i de to fagene. Harald Ulrik Sverdrup som var vitenskapelig leder for Maud-ekspedisjonen 1918–1925 og kanskje er den mest kjente norske oseanografen i verden idag bl.a. gjennom måle-enheten 1 Sv (1 million  $m^3$  per sekund) og begrepene Sverdrup-dynamikk, Sverdrup-teori, Sverdrup-sirkulasjon, overtok Vilhelm Bjerknes sitt professorat i meteorologi da han kom tilbake fra Maud-ekspedisjonen. Hans karriere må imidlertid sies å ha vært i oseanografi.

Også Håkon Mosby (1903–1989) hadde stilling i meteorologi før han ble ansatt som oseanograf i 1939. Det skjedde da Jonas Ekman Fjeldstad (1894–1985) flyttet fra Bergen til et dosentur og senere professorat ved Universitetet i Oslo. I Oslo satt Fridtjof Nansen i sitt professorat frem til han døde i 1930. Det ble aldri noe Geofysisk institutt i Oslo på lignende måte som i Bergen. Forskning i oseanografi ved UiO etter Nansen har foregått delvis ved Fysisk Institutt, innen fysisk geografi, ved Institutt for vær og klimaforskning (i samarbeid med Det Norske Vitenskapsakademi og finansiert av Vassdragsvesenet), i anvendt matematikk og ved det nåværende Institutt for geofag.

Også i Oslo har det i mange tilfeller vært nære koplinger mellom oseanografi

og meteorologi. Ved Institutt for vær og klimaforskning som var i virksomhet på 1950-tallet og ble ledet av Einar Høiland var mange oseanografer og anvendt matematikere innom, inkludert Arne Foldvik som senere ble dosent og professor i Bergen og var den første i generasjonen etter Håkon Mosby, tett fulgt av Martin Mork og Herman Gade. Vi må kunne konkludere med at selv om faget fysisk oseanografi har få faste vitenskapelige stillinger ved norske universiteter (til sammen størrelsesorden 10 stillinger), har faget bl.a. ved samarbeid med meteorologi, anvendt matematikk og andre universitetsfag, klart å befeste sin posisjon i Norge. Til sammenligning er faget nesten utradert ved danske universiteter, mens det i Sverige har kommet til stillinger i de seinere årene både i Gøteborg og Stockholm etter en kritisk periode. Allerede ved opprettelsen av NGF i 1917 kan vi si at en gullalder for norsk geofysikk generelt og oseanografi spesielt var igang. Helland-Hansen var internasjonalt anerkjent og ble det i enda større grad utover 1920 og 1930-tallet. Da Scripps Institution of Oceanography i sørlige California, en av verdens ledende oseanografiske institusjoner idag, skulle ha ny leder på 1930-tallet og hadde satt seg høye ambisjoner, var det Helland-Hansen som ble spurt om å finne fram til en egnet direktør. Han pekte på Harald Ulrik Sverdrup (Fig. 7.2). Dette ble særdeles vellykket og bidro sterkt til norsk oseanografi sin store anerkjennelse i USA.

Sverdrups første PhD-student ved Scripps var Walter Munk som da arbeidet med varsling av bølger relevant for operasjoner under krigen og siden ble en verdensledende oseanograf med bidrag innen mange tema. Walter Munk er i dag 99 år, fortsatt faglig aktiv, Norgesvenn og en hyppig gjest i Bergen der Ola M Johannessen har hatt ham



Figur 7.2: Harald Ulrik Sverdrup. Fotograf Atelier Rude – 1954, Kilde: Oslo Museum

som gjest ved mange anledninger. Sverdrups arbeid var av betydning for Norge også utover oseanografien. Da han kom tilbake til Norge etter 2. verdenskrig bidro han både til styrking av norsk polarforskning gjennom ledelse av det som skulle bli Norsk Polarinstitutt og deretter til modernisering av realfagsundervisningen ved UiO.

Sverdrup begynte som assistent hos Vilhelm Bjerknes og tok sin doktorgrad i 1917 innen meteorologi. Han fikk sin ilddåp som selvstendig forsker da han ble vitenskapelig leder for Maud-ekspedisjonen 1918-1925. Kitaigorodskii (2007) beskriver det han har kalt Sverdrups 5 store oppdagelser og buker dem som grunnlag for en introduksjon til hele oseanografifaget. Oppdagelsene inkluderer strukturen til den nordatlantiske passatvinden (tema for doktoravhandlingen), tidevannsdynamikk, vannmasse- og havstrømsanalysen i *The Oceans* (Sverdrup, Johnson & Fleming, 1942), vindbølger og dønning, og vinddrevne strømmer i et baroklint hav.

### **Sverdrup og Maud-ekspedisjonen**

I sammenheng med NGFs 100-års jubileum er det kanskje mest naturlig å trekke fram resultatene fra Maud-ekspedisjonen som et av de første store høydepunktene i norsk oseanografi i perioden. Sverdrup analyserte mye av materialet selv, men Fjeldstad bidro spesielt til tidevannsanalysen, også med egne studier av høy kvalitet. Mosby arbeidet bl.a. med stråling og varmebudsjett, tema som han senere skulle forfølge i egne studier av de Nordiske hav og Arktis. Det bør også nevnes at Sverdrup under Maud-ekspedisjonen hadde nær kontakt med Odd Dahl (1898–1994), den unge instrumentmakeren som senere skulle komme til å spille så stor rolle for mange forskningsområder inkludert atomfysikk og romforskning. Odd Dahl hadde liten formell utdannelse. Ifølge ham selv var han primært «god til å spikke», men de to fant hverandre og Dahl har uttalt at Sverdrup var en svært god læremester. Sverdrup-Dahls elektriske strømmåler som ble utviklet under Maud-ekspedisjonen var den første i en serie bidrag fra Odd Dahl helt fram til Aanderaa-instrumentene som kom på 1960-tallet.

### **Nansen som inspirator**

Sverdrup og Maud-ekspedisjonen hadde ringvirkninger for mye av både norsk og internasjonal oseanografi. Et annet tidlig og viktig høydepunkt med store ringvirkninger er knyttet til Fridtjof Nansen. Hans kanskje mest kjente bidrag til oseanografien kom før 1917 og inkluderte storverket «The Norwegian Sea» som han skrev sammen

Figur 7.3: The Norwegian Sea 1909, Helland-Hansen og Nansen.



med Helland-Hansen i 1909 (Fig. 7.3). (Da jeg kom til Geofysisk institutt på 1990-tallet besto pensum i et av emnene av to deler. Del 1 var «The Norwegian Sea» og del 2 var «Nyere litteratur». Så det verket har stått seg godt i lang tid).

Nansen vendte tilbake til oseanografien på full tid utover 1920-tallet og skrev bl.a. inngående om langsiktige klimavariasjoner. Det er likevel primært som inspirasjonskilde og rådgiver at han i denne perioden hadde betydning for norsk oseanografi. Han hadde sitt personlige professorat ved UiO og holdt til på Lysaker der han også hadde instrumenter og vannflasker i kjelleren. Både Håkon Mosby og hans eldre bror Olav Mosby (1896–1956) som også var aktiv oseanograf, ble ansatt som assistenter for Nansen. Det er ingen tvil om at Mosby og hans generasjon hadde en enorm respekt for Nansen. I oseanografien er Nansens navn fortsatt knyttet til Nansen-flasker som ble benyttet på vannhenterne og betydelig forbedret av Nansen selv. Hans viktigste bidrag i tillegg til den tidlige kritikken og forbedringen av målemetoder som han gjennomførte sammen med Helland-Hansen, var kanskje at han fikk Ekman



Figur 7.4: Kapteinen på Norvegia annekterer Bouvetøya for Norge. Håkon Mosby til høyre.

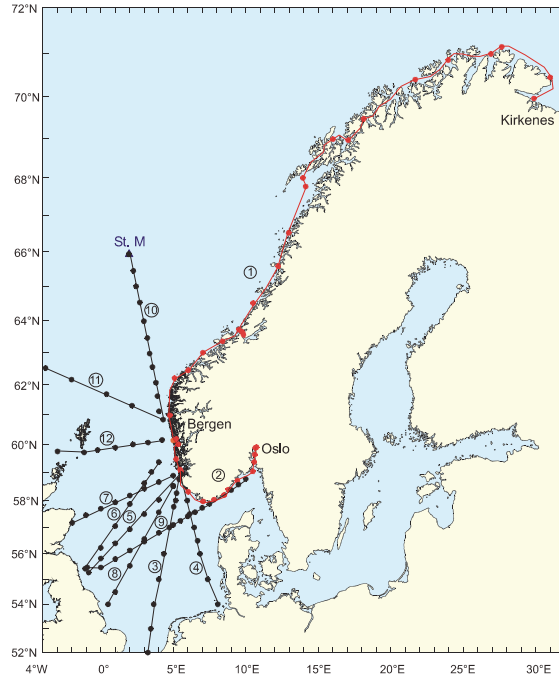
til å utvikle Ekmanspiralen og studere dødvann knyttet til indre bølger samt at han inspirerte andre til å føre arven videre. Et stort nasjonalt prosjekt rettet mot det nordlige Barentshavet er nå under planlegging med den ambisiøse tittelen «Arven etter Nansen».

### **Antarktisk oseanografi**

Da Håkon Mosby i 1927 som ung mann, ennå ikke ferdig med hovedfag, ble utpekt til å delta på Norvegia-ekspedisjonen til Sørishavet, var det hos Nansen han lånte vannflasker og annen instrumentering og fikk kyndig veiledning. På denne ekspedisjonen ble det forøvrig overraskende så gode værforhold at man kunne gå i land og annektere Bouvetøya for Norge (Fig. 7.4). Viktigere for oseanografien var de dataene som ble samlet inn på disse ekspedisjonene. Mosbys doktorgrad omhandlet antarktisk oseanografi og dette ble starten på en betydningsfull innsats i Antarktis fra senere generasjoner av oseanografer inkludert Mosbys første hovedfagsstudent Lars Midttun



Figur 7.5: Datainnsamling fra rutegående fartøy (Eggvin)



like etter 2. verdenskrig. Fra 1960-tallet og kontinuerlig fram til idag har Norge markert seg i antarktisk oseanografi bl.a. med Arne Foldvik, Thor Kvinge, Herman Gade, Tor Gammelsrød, Svein Østerhus, Ole Anders Nøst, Lars Henrik Smedsrud og Elin Darelus. Det er særlig dannelsen av tungt og kaldt vann på sokkelen i Weddellhavet og koplinger til den dype havsirkulasjonen og ventilering av dyphavene som har stått i fokus for disse studiene. Å mestre de krevende forholdene og få til eksperimentelle studier var noe som norsk oseanografi og norsk instrumentering har vist seg svært konkurransedyktig på.

### Havovervåking og observasjonssystem

Ved Havforsknings-instituttet (HI) var det lite fokus på fysisk oseanografi i årene etter første verdenskrig, men i 1931 ble Jens Eggvin (1899–1989) ansatt. Han ledet fysisk oseanografi ved HI helt frem til 1969. Eggvin fikk startet tidsserie-observasjoner som kunne fange opp år-til-år variabilitet med sikte på varsling av forhold av betydning for fiskeriene og ble med dette en pionér innen operasjonell havovervåking. Det begynte

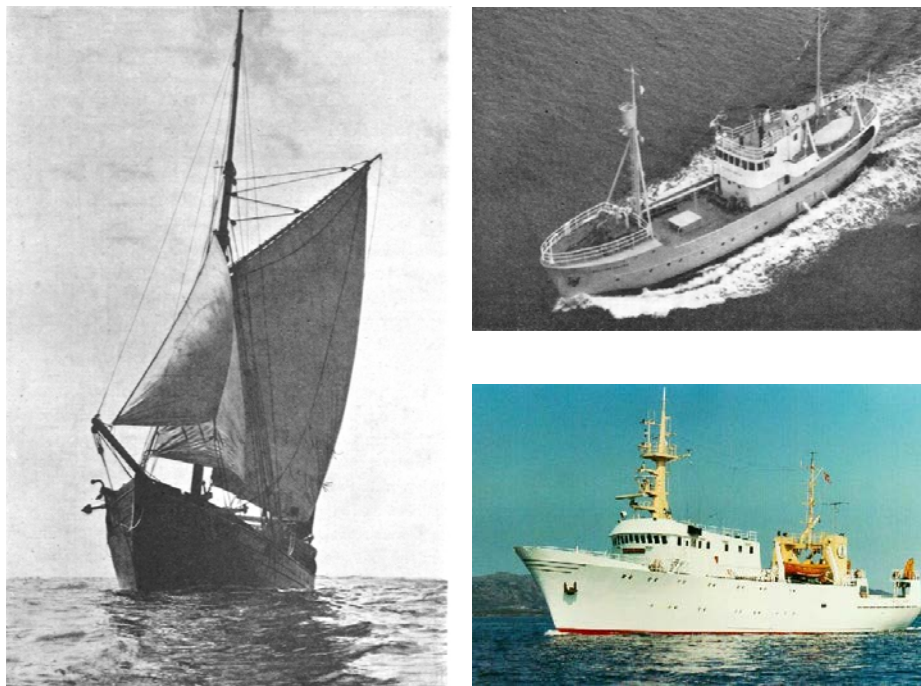
med faste målestasjoner langs kysten og termografer på rute-gående fartøy (Fig. 7.5).

Idag er HI også engasjert i bruk av drivende bøyer og partner i det såkalte EuroArgo-programmet. NIVA har deltatt i utvikling av såkalte ferrybox automatiske målesystemer som er installert på fartøyer. Meteorologisk institutt driver operasjonelle numeriske havmodellsystemer i samarbeid med HI, og Nansensenteret bidrar også med både satellittobservasjoner og modellering. Det meste av aktiviteten er knyttet til internasjonalt samarbeid gjennom IOCs<sup>5</sup> Global Ocean Observing System (GOOS), den regionale alliansen EuroGOOS, forsknings og utviklingsprosjekter finansiert gjennom europeiske forsknings og innovasjonsprogram og programmer for jordovervåkning fra satellitter. Fremdeles etter 100 års innsats er det imidlertid slik at det å utnytte informasjonen knyttet til havets varmelagring for varsling av variabiliteten av atmosfærisk klima og marine økosystemer stadig er tema i nye forskningsprosjekter.

Like etter 2. verdenskrig var det mye fokus på bedre værvarsling for sivil luftfart. Siden observasjonsnettene var spesielt dårlig i åpne havområder ble det etablert et system av værskip som regelmessig skulle gjøre radiosondemålinger. I norske farvann var det særlig Norskehavet som var aktuelt og posisjon 66°N, 2°E, kalt stasjon «M» eller «Mike», ble valgt. Her skulle et skip ligge i tilnærmet fast posisjon bare avbrutt av månedlige turer til land for bunkring, proviantering og mannskapskifte. Håkon Mosby benyttet sjansen til å få mannskapet til også å gjøre regelmessige hydrografiske observasjoner. På denne måten fikk vi i Norge den lengste homogene tidsserien i dyphavet overhodet. Måleprogrammet ble gjennomført i over 50 år, inntil det ble for dyrt. I mellomtiden hadde satellitter gitt bedre data for meteorologiske formål. En fast målerigg kan nå dekke mye av den oseanografiske variabiliteten og forskningsfartøy kommer innom posisjonen iblant for å ta høykvalitetsdata fra det mer saktevarierende dyphavet. Tidsserien er ikke like homogen lengre, men formålet ivaretas.

---

<sup>5</sup>IOC, Intergovernmental Oceanographic Commission, er et FN-organ som er administrativt plassert som del av UNESCO (FNs organ for utdanning, forskning, kultur og kommunikasjon). IOCs oppgave er å fremme havforskning, relaterte tjenester (slik som varsling av tsunamier), datautveksling, informasjonsdeling og relatert kompetanseoppbygging. IOC er anerkjent i havretten som kompetent organ i saker som angår marin forskning. IOC har såkalt funksjonell autonomi i UNESCO. Dette vil bl.a. si at land kan være direkte medlemmer av IOC. På IOCs General Assembly som møtes hvert annet år, velger de 148 medlemslandene tillitspersoner og bestemmer program og budsjett for neste periode.



Figur 7.6: «Armauer Hansen» t.v. , «Helland-Hansen» o.h. og «Håkon Mosby» n.h.

## Internasjonalt samarbeid

Norske oseanografer deltok aktivt i det internasjonale geofysiske (IGY) år 1957–58. Man hadde fortsatt gamle «Armauer Hansen» fra 1912 i virksomhet og det helt nye fartøyet «Helland-Hansen» ble innviet samme år (Fig. 7.6). Dette var et moderne forskningsfartøy, men fortsatt relativt lite i forhold til de mange store fartøyer som deltok fra de store havforskningsnasjonene. Lille Geofysisk institutt med en svær begrenset stab stilte altså med to fartøyer som hver for seg fikk utrettet omtrent like mye som de store internasjonale. I tillegg stilte HI med «G.O. Sars» og «Johan Hjort», så her markerte Norge seg sterkt, spesielt om man ser de vitenskapelige resultatene i forhold til innsatsen.

IGY var med å gi støtet til styrking av formelle organ for internasjonalt havforsknings-samarbeid. Både SCOR og IOC kan sies å ha fått fødselshjelp fra IGY, SCOR

som et internasjonalt og ikke-statlig organ med forskerne selv som representanter gjennom nasjonale komiteer, typisk utpekt av vitenskapsakademiene, og IOC som et mellomstatlig organ der gjerne forskere også kan være med i de nasjonale delegasjonene, men må holde seg til instruks utarbeidet på departementsnivå. Opprinnelig hadde nok flere, inkludert Mosby som deltok fra norsk side i de forberedende møtene, tenkt at det hadde vært tilstrekkelig med en organisasjon, men det viste seg snart at ordningen var god. Det har også vært et nært og godt samarbeid mellom SCOR og IOC i alle år siden opprettelsen. Et av de første fellestiltakene var The Indian Ocean Expedition (IIOE) som i disse dager etterfølges av IIOE-2. Både SCOR og IOC dekker hele bredden av oseanografi inkludert biologi og geologi, altså utover den geofysiske rammen for denne oversikten. Men de har vært og er viktige for fysisk oseanografi og det har vært betydelig norsk deltakelse i programmer, komiteer og tilknyttet virksomhet.

### **Kystoseanografi**

Den norske kysten består stort sett av grunnfjell. Det er få strender eller områder der erosjon kan forandre kystlinjen, men desto flere fjorder og poller. Variabilitet i den norske kyststrøm er både tetthetsdrevet og vinddrevet og viktig for utveksling mellom åpent hav og fjordområdene. Særlig i terskelfjordene kan det bli lange stagnasjonsperioder avbrutt av episodisk fornyelse av dyp og bunnvann. Dette er med og gjør fjordene til velegnete laboratorier for studier av oseanografiske prosesser. Lange måleserier i Sognefjorden og Hardangerfjorden ble igangsatt av Mosby og kolleger. Odd Henrik Sælen (1920–2008), Martin Mork (1933–2017), Harald Svendsen (1937–2009), Roald Sætre, Herman Gade, Jan Aure og Thomas (Tom) McClimans er blant de mange som har gitt vesentlige bidrag til kyst og fjordoseanografi.

Mork ledet det store prosjektet om den norske kyststrøm på 1970-tallet sammen med Sætre. Aure bidro bl.a. med komparative studier av en lang rekke mindre fjorder med sikte på prosessforståelse og modellutvikling. Svendsen studerte først Vestlandsfjorder i prosjekter knyttet til konsesjoner for vannkraftutbygging som endrer sesongfordelingen av ferskvannstilførsel. Han arbeidet senere langs hele kysten og nedla bl.a. en betydelig innsats på Svalbard i samarbeid med biologer særlig fra Tromsø. Svendsen var også en aktiv talsmann for numerisk modellering og et samspill mellom mer teoretisk anlagte modellører og empiriske studier. McClimans jobbet i Trondheim ved SINTEF og NTNU og bør spesielt nevnes for sitt systematiske arbeid med fysiske modeller på roterende bord. McClimans drev denne teknikken

svært langt og bygget opp detaljerte topografiske modeller for forskjellige områder som den norske kyststrøm utenfor Vestlandet og senere Barentshavet.

I dag er numerisk kyst- og fjordmodellering kommet svært langt spesielt gjennom et nært samarbeid mellom Meteorologisk institutt og HI. Et validert høyoppløselig modellverktøy kan brukes til mange samfunnsnyttige formål. For tiden er det særlig prediksjon av spredning av lakselus fra oppdrettsanlegg som står i fokus. HI har utviklet et trafikklus-system for videre utvikling av oppdrettsnæringen basert på transport og spredning i detaljerte sirkulasjonsmodeller koplet med biologisk informasjon.

## **Fjernmåling og modellering**

Ola M Johannessen så tidlig mulighetene som åpnet seg med satellittfernmåling av hav og is. Etter utenlandsopphold i Brasil, Canada og Italia begynte han sitt virke ved Geofysisk institutt i Bergen i 1974 og etablerte raskt en posisjon i internasjonal satellittoseanografi. Han satte igang internasjonale eksperimenter i den marginale issonen med bl.a. tung deltakelse fra USA og ble en hyppig bruker av det nye fartøyet «Håkon Mosby» som erstattet «Helland-Hansen» etter et tragisk forlis av sistnevnte. Forskningsgruppen rundt Ola M drev også kyststrømstudier med vekt på mesoskala variabilitet der et velutstyrt fartøy med moderne akustisk strømmålingsutstyr og slepesonde (SeaSoar) kunne styres mot interessante fenomen observert fra satellitt. I 1986 etablerte han Nansensenteret for Miljø og Fjernmåling (opprinnelig Nansen Senter for Fjernmåling) som en selvstendig stiftelse tilknyttet Universitetet i Bergen. Dette ble en viktig arbeidsgiver og rekrutteringsbase for oseanografi. Nansensenteret satset også på numerisk modellering og etablerte for en periode et kontor i Oslo. Oslokontoret ble senere nedlagt, men søster-sentre i St Petersburg, Cape Town, Beijing, Goa (India) og Bangladesh er fortsatt i virksomhet. Nansensenteret har evnet å tiltrekke seg betydelig finansiering både fra EU, forskningsråd, internasjonale satellittprogrammer, industri og private donasjoner og er idag godt kjent internasjonalt for bidrag til både klimastudier og operativ overvåking og varsling.

## **Arktisk forskning**

Helt siden Nansens Framferd har arktiske studier stått sentralt i norsk oseanografi og det kunne skrives mye mer enn det blir plass til her. Arne Foldvik etablerte tidlig et eget kurs i polar oseanografi i Bergen. Dette er en spesialitet som det ikke finnes mange paralleller til rundt om i verden. Da Universitetsstudiene (senere Universitetssenteret)

på Svalbard (UNIS) ble etablert i 1993 var det Arne Foldvik som kom inn på deltid og definerte det oseanografiske programmet. På UNIS kunne man velge forelesere fra øverste hylle og Foldvik var rask med å invitere Jan Erik Weber og Bjørn Gjevik fra UiO til å undervise bl.a. i dynamikk og tidevannsteori. UNIS eksponerte mange studenter, assistenter og forskere for arktisk feltarbeid og har nok bidratt sterkt til å videreutvikle en klar polar profil på norsk oseanografi like frem til idag. I begynnelsen var det relativt korte åremål i undervisningsstillingene, men det er nå en fast ansatt fysisk oseanograf som professor og staben er også blitt utvidet med en hel stilling i kjemisk oseanografi.

### **Biogeokjemi og tverrfaglighet**

Som tidligere nevnt så Helland-Hansen tidlig verdien av kjemisk oseanografi og bidro til å fremme dette fagområdet ved Museet i Bergen i tiden fram mot etablering av et universitet. Kjemi ble etterhvert et eget institutt og mange spesialiteter utviklet seg ved UiB som ved UiO, noen delvis inn mot marin kjemi. Det skulle imidlertid gå helt fram til 1990-tallet før en universitetsstilling i kjemisk oseanografi ble utlyst. Bakgrunnen da var klimaspørsmålet og særlig karbonkretsløp i havet. Klima fikk stor oppmerksomhet etter at klimautredningene begynte å komme rundt 1990 og det ble pekt på at havets opptak og omfordeling var et kritisk spørsmål som også måtte egne seg for å studeres i nært samarbeid med et sterkt miljø i fysisk oseanografi.

Det begynte med at Leif Anderson ble hentet inn fra Gøteborg til bistilling ved Geofysisk institutt der han underviste deler av kurset i polar oseanografi. Både karbonkretsløpet i seg selv og bruk av kjemiske sporstoff har spesiell interesse i polar oseanografi. Snart ble stillingsressurser omprioritert fra fysisk til kjemisk oseanografi og det kunne ansettes en kjemisk oseanograf på heltid. I 2003 kom det en stilling til med mer vekt på modellering og i forbindelse med bevilgning til Bjerknessenteret en tredje stilling innen kjemisk oseanografi, alle med vekt på karbonkretsløp. Her kan det skytes inn at det har vært bevisst lagt opp til en arbeidsdeling mellom Oslo og Bergen. Etter en periode på 1980-tallet da begge miljøer drev med kjemisk meteorologi var det enighet om at det var bedre å bygge dette opp i Oslo og så overlate til Bergensmiljøet å dekke kjemisk oseanografi (Fig. 7.7).

Tverrfaglig klima-forskning skjøt fart utover 2000-tallet inkludert etableringen av Bjerknessenteret. Ved Bjerknessenteret var oseanografi en vesentlig komponent fra alle partnerne UiB, HI, Nansensenteret og Uni Research. Utvikling av komplette

atmosfære-havmodeller har utviklet seg til å bli en nasjonal dugnad med sterke bidrag fra meteorologi og oseanografi-miljøene primært i Oslo og Bergen. Med etablering av nasjonale forskerskoler i klimaforskning har hele landet kommet med i et nettverk som også er knyttet sammen med internasjonale nettverk. Den nasjonale komplette klimamodellen har utviklet seg til en jordsystemmodell som også beskriver bl.a. karbonkretsløpet. Igjen ser vi at tverrfaglig samarbeid med ekspertise utenfor geofysikk bli mer og mer aktuelt.

Det er sikkert mange andre tema eller vinklinger som kunne vært valgt for en slik gjennomgang. I det ovenstående har jeg med noen unntak nevnt navn bare på avdøde eller pensjonerte oseanografer. Dette kan føre til at visse tema eller deler av fagmiljø blir oversett eller for svakt representert. Kanskje det for eksempel skulle vært sagt mer om dyphavsoseanografi, detaljerte studier av turbulente blandingsprosesser eller vekselvirkning luft-hav. Norske oseanografer har også bidratt betydelig til havisforskning på forskjellige skalaer. Geofysisk institutt ved UiB har påtatt seg å koordinere en tverrinstitusjonell mastergrad i energi. Både oseanografer og meteorologer har de siste 8 årene vært aktive innen forskning i et nasjonalt senter for havvind og det er nylig tilsatt en professor i marin energi. Også miljøene i Oslo og Trondheim har gjennom årene gitt viktige bidrag til studier av bølger, tidevann og marin teknologi i grenseland mot oseanografi.

Det er vanskelig å yte rettferdighet i en kortfattet gjennomgang og enda vanskeligere jo nærmere vi kommer vår egen tid. Vi har idag et aktivt oseanografisk forskningsmiljø i Norge. Det produseres mange forskningsresultater og det kan ennå ta



Figur 7.7: Vannprøver er viktig for kjemisk oseanografi. Her tappes vann på Armauer Hansen i 1926.

noe tid før vi ser hva som blir stående som de mest signifikante bidragene. Det nasjonale miljøet i oseanografi har også blitt kraftig internasjonalisert de senere årene med mange tilflyttere både til stipendiater og forskerstillinger og mange internasjonale samforfatterskap. Det gjør det også vanskeligere å identifisere der unike norske bidraget, men det er nok bra for utvikling av faget som helhet.

## Faget og foreningen

Det er vanskelig å avgjøre hvor stor betydning og på hvilken måte Norsk Geofysisk forening har spilt en rolle for utviklingen av faget oseanografi. De toneangivende oseanografene i NGF hadde jo også andre roller og arenaer der de kunne drive fagpolitikk. Det er utvilsomt spesielt for norsk geofysikk at man får etablert ikke bare en forening som i mange år var en utpreget elite-klubb med harde opptakskrav, men også en Geofysisk kommisjon som kom til å spille en viktig forskningspolitisk rolle. At man samlet de forskjellige geofysiske disiplinene i en slik kommisjon var nok viktig om ikke avgjørende for slagkraften til både NGF og fagene som sådan.

Men det var nok ikke bare politisk opportuniste som drev geofysikerne sammen. Som beskrevet ovenfor oppsto oseanografien (her forstått primært som fysisk oseanografi inkludert kjemisk oseanografi) i Norge i nært samspill med marin biologi. Mange spennende forskningstema som kom på agendaen på slutten av 1800-tallet og tidlig på 1900-tallet ville bare kunne løses ved tverrfaglig samarbeid mellom biologer og geofysikere. Av forskjellige grunner som ikke kan redegjøres fullt ut for i denne sammenhengen, antakelig også knyttet til sterke personligheter som ikke samarbeidet særlig godt, ble det imidlertid et ganske skarpt skille mellom fysisk oseanografi ved grunnforskningsorienterte institutter ved museum/universitet og anvendt fiskeribiologi ved fiskeristyrelsen som etterhvert ble videreført i Havforskningsinstituttet.

Den faglige begeistringen for allmenngyldige fysiske naturlover, matematiske metoder og «eksakt» vitenskap blant ledende oseanografer var nok med og dro dem mot kolleger i andre grener av geofysikken heller enn mot andre marine disipliner som i deres øyne hadde preg av museal innsamlingsvirksomhet eller praktisk fiskeriforvaltning. Det er først i seinere tid at biologi og geologi også har utviklet kvantitative grener og modellering av økosystem og langsiktig klimavariasjoner som har virket attraktivt på oseanografer. Men i 1917 var geofysikk utvilsomt en paraply det både var forskningspolitisk opportunt og faglig naturlig å samles under og utvikle videre.



Foreningen har gjennom sine årsmøter vært en arena for å møtes, først for en engere krets spesialister. Vi vet ikke så mye om hvordan møtene forløp, men kan tenke oss at medlemmer i foreningen utgjorde et krevende publikum og det var sikkert verd å anstrenge seg for å holde innlegg av høy faglig kvalitet. Vi vet (Dannevig, 1991) at Helland-Hansen i en periode var urolig for at det ble mange meteorologer i foreningen og at disse kunne få en for dominerende plass, men på den annen side er jo meteorologi og oseanografi nær beslektet og det kan ha vært bra for de relativt få oseanografene i Norge å ha et kvalifisert publikum av meteorologer å bryne seg på.

## Hvor står vi nå?

Fremgang i marin forskning på 1900-tallet kan i stor grad knyttes til utvikling av måleteknologi som muliggjør oppdagelse og dokumentasjon av hittil ukjente fenomen. Verden over pågår det nå en rask utvikling av måleteknologi med kabelbaserte observatorier, fjernstyrte farkoster, undervannsdroner, drivende bøyer og mikro-sensorer som kan monteres på hval, sel og fisk eller slippes fritt i vannmassene. For fysisk oseanografi er slike måleplattformer like gode som et forskningsfartøy og de er billigere slik at man kan sette ut flere og få god datadekning i rom og tid.

For biologiske undersøkelser trengs det fortsatt i stor grad fartøy med stor bemanning og tilhørende kostnad. Norge tar i disse dager i bruk to helt nye forskningsfartøy, Dr Fridtjof Nansen som skal brukes av FN for å gjøre fiskeri og miljøundersøkelser og kompetanseoppbygging i utviklingsland særlig rundt Afrika, og Kronprins Haakon som er et stort isgående fartøy til bruk primært i nordområdene, men som også kan sendes til Antarktis. Disse blir nyttige også for internasjonalt samarbeid.

Det er likevel et åpent spørsmål om norsk fysisk oseanografi er tilstrekkelig engasjert i utvikling og bruk av teknologi for målesystemer til å beholde en sterk internasjonal posisjon i dette området. Bedriften Aanderaa Instruments som ble etablert i Bergen på 1960-tallet og raskt ble verdensledende på produksjon av pålitelige strømmålere, er idag en del av et større internasjonalt firma Xylem. Nortek AS som ble etablert i 1996 produserer også strømmålere i Norge for eksport verden over. Disse bedriftene har norske oseanografamiljøer som testbrukere. Er vi flinke nok til å se etter helt nye områder der oseanografer kan koples mot ny teknologi?

Det største miljøet av oseanografer i Norge finner vi antakelig ved Havforskningsinstituttets forskningsgruppe for oseanografi og klima. Her er de aller fleste utdannet

i oseanografi, med noen tilskudd av kompetanse fra matematikk, informatikk og biologi. Også Meteorologisk Institutt, Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA), Akvaplan-NIVA, Norsk Polarinstitut, Nansensenteret, Uni Research, og enda flere forskningsinstitutter har oseanografer i staben. Noen av disse jobber med problemstillinger knyttet til klimaeffekter på havet eller modellering av klimaendringer. I privat sektor har selskaper som Statoil og StormGeo betydelig oseanografisk kompetanse. I universitetssektoren har både Universitetscenteret på Svalbard (UNIS), Universitetet i Tromsø og Universitetet i Nordland bygget opp undervisningstilbud i tillegg til dem som finnes ved UiB og UiO. På NTNU undervises i oseanografi for marin teknologi.

Ifølge en undersøkelse «Global Ocean Science Report» som IOC offentliggjør i juni 2017 er Norge det landet i verden som har flest havforskere per million innbyggere. Har vi den riktige andelen oseanografer blant disse for å møte fremtidens utfordringer? Et jobbmarked som ennå ikke ser ut til å ha åpnet seg helt for oseanografer er offentlig forvaltning. Kanskje kystsoneforvaltning, arealbruk, arbeid med konsesjoner for havbruk o.l. kan åpne flere muligheter for oseanografer i fremtiden. Eller kanskje det ikke er geofysikk som blir den naturlige overbygningen for oseanografer å tilhøre om 100 år. Kanskje vi får en helt ny fellesnevner med andre grupperinger av disipliner. Vi kan kanskje lære noe av at vår kanskje mest kjente oseanograf Harald Ulrik Sverdrup (riktignok sammen med medforfattere) sto bak en bok som omhandler både fysikk, kjemi og biologi og at han også gav navn til den såkalte Sverdrups kritiske dybde der algenes netto produksjon og respirasjon balanserer hverandre. Biologi eller teknologi, miljøstudier - det er mange muligheter for fysisk oseanografi.

## Referanser

- Dannevig, P. (1991). *Norsk Geofysisk forening 1917–1991*. 46 sider.
- Hovland, E. (red.) (2007). *I vinden. Geofysisk institutt 90 år*. Fagbokforlaget. ISBN 978-82-450-0666-7.
- Haaland, A. (1996). *Bergens Museums historie 1825–1945*. Bind I av Forland & Haaland (red): «Universitetet i Bergens historie.» ISBN 82-993786-1-3.
- Kitaigorodskii, S.A. (2007). *Five Discoveries by Harald Ulrik Sverdrup. An introduction to physical oceanography*. Kolofon forlag, ISBN 978-82-300-0352-7.

PETER HAUGAN

Sakshaug, E og H. Mosby (1976). *En oversikt over norsk oseanografis historie fram til den 2. verdenskrig*. Side 209–232 i E. Sakshaug, F.E. Dahl og N.P. Wedege (red.): «Norsk oseanografi – status og perspektiver. » Norsk Oseanografisk komite. Oslo. ISBN 82-7216-000-5.

Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. & R.H. Fleming (1942). *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall.



# Kapittel 8 — Romfysikk: Norsk nordlys-forskning gjennom 100 år

Av ASGEIR MØLMEN BREKKE



Forrige side:  
EISCAT-radaren i Tromsø under nordlyset  
Foto: Njål Gulbrandsen

## Kristian Birkeland etablerte verdens første Nordlysobservatorium

*Det Første Internasjonale Polaråret 1882–83* skapte en betydelig interesse for nordlyset og særlig i Skandinavia bidro flere dyktige forskere til studiet av fenomenet. I Norge kom den unge stipendiaten, Olaf Kristian Bernard Birkeland (1867–1917) på banen i 1893, da han fikk et reisestipend for å besøke framstående fysikkmiljø i Europa. Auguste de la Rive (1801–1873) hadde utført eksperimenter med katodestråler i utladningsrør, observert lysbuer som snodde seg rundt en magnetisk pol og påvist magnetiske effekter av de elektriske «lys jetene» som forplantet seg gjennom fortynt gass (de la Rive, 1849). Det er rimelig å tro at Birkeland, på sin reise til lærestedene i Europa, fikk kunnskap om disse arbeidene som inspirerte ham til selv å gjennomføre eksperimenter i laboratoriet. I 1896 publiserte han en idé hvor han mente at nordlysene ble dannet av katodestråler fra sola som ble sugd inn av jordas magnetfelt og tvunget inn mot de magnetiske polene (Birkeland, 1896).

I 1899 fulgte Birkeland opp med en artikkel (Birkeland, 1899) hvor han vedgikk at da han skrev sin artikkel i 1896, trodde han at han var den første som hadde idéen om at katodestråler som strømmet ut fra sola kunne ha innvirkning på jorda. Han måtte beklage feilen og innrømme at Eugen Goldstein (1850–1930) allerede i 1881 hadde indikert det samme. Han mente likevel at han var den første til å hevde at katodestrålene delvis ble sugd inn i atmosfæra mot magnetpolene (Birkeland, 1899). Birkelands idé var altså ikke helt ny.

Birkeland bestemte seg for å forsøke å måle høydene av nordlysene ved hjelp av triangulering mellom to observatorier i Finnmark. Etter et par rekognoseringsturer i 1897, valgte Birkeland Haldde (Sukkertoppen) og Talviktoppen ca. 4 km øst fra Haldde, som egnede steder for observatoriene sine. Begge stedene ligger godt over 900 m.o.h. i Bossekop i Kåfjord i Finnmark.

Det synes forunderlig at Birkeland valgte denne korte avstanden, ~ 4 km, mellom de to observatoriene, siden Tromholt allerede i 1885 advarte mot dette (Tromholt, 1885). Birkeland overså tydelig disse innvendingene. Siden han ikke satte noen begrensning på gjennomtrengningsevnen av katodestrålene i atmosfæren, var det for ham ikke utenkelig at nordlysene kunne nå helt ned til fjelltoppene. Han underestimerte altså høydene av nordlysene og antok at de var sammenlignbare med høydene av skyene. At cirrus skyer og nordlysstråler, bånd og buer var sterkt forbundet med

hverandre var en vidt akseptert idé ved slutten av det 19. århundre (Angot, 1897).

Birkeland var nok sterkt inspirert av denne forbindelsen mellom skyer og nordlys og i følge referatet fra et foredrag som Krogness holdt i 1917 til minne om Kristian Birkelands brå bortgang sommeren forut, sa Krogness: «*En av observatoriets hovedoppgaver var at undersøke hvorvidt der muligens eksisterte forbindelse mellom nordlysfenomenene og de meteorologiske fenomener.*» (Krogness, 1917). I 1898 ble Birkeland utnevnt til professor og samme år ble det bevilget kr. 15 000,- av Stortinget til å bygge et observatorium på hver av fjelltoppene. Det var nok ikke uten betydning for det positive utfallet, at Nansen hadde kommet tilbake fra en vellykket Fram ferd i 1896 og skapt en sterk nasjonal interesse for norsk vitenskapelig aktivitet i polarområdene (Devik, 1917). Den 17. oktober 1899 stod verdens to første nordlysobservatorier klare til bruk til en sluttsum av kr. 31 000,-. En ikke ubetydelig budsjettsprikk!

## Resultatene fra Haldde-ekspedisjonen 1899–1900

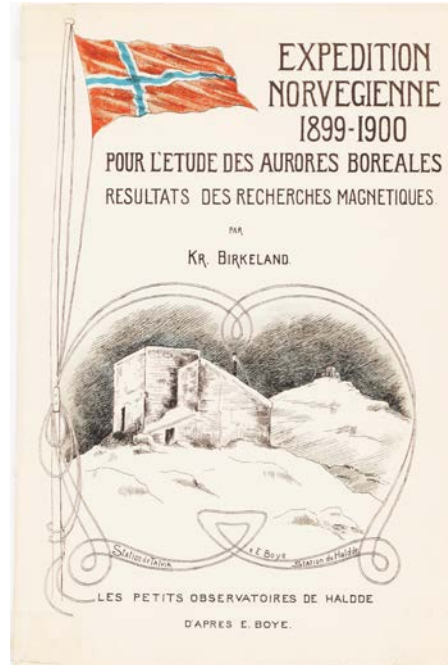
Sammen med sine assistenter brakte Birkeland med seg nordlyskameraer, magnetometre og andre instrumenter til disse observatoriene for å utføre observasjoner av nordlys gjennom vinteren 1899–1900. Under hans ledelse ble det utført observasjoner av nordlys og atmosfærisk elektrisitet, foruten magnetiske og meteorologiske observasjoner (Birkeland, 1902).

På frontsida av rapporten (Fig. 8.1) fra *Expedition Norvegienne 1899–1900 pour l'étude des Aurores Boreales Resultats des Recherches Magnetiques*, var det trykket en tegning av observatoriene med et imponerende rent norsk flagg i forgrunnen. Det var ingen tvil om at Birkeland følte at nordlysforskningen var et bidrag til den norske frigjøringskampen ved begynnelsen av det forrige århundre (Birkeland, 1902). Høydemålingene fra ekspedisjonen til Haldde i 1899 til 1900 ble en fiasko delvis på grunn av den korte avstanden mellom observatoriene, men også fordi optikken ikke var god nok til å fotografere de svake nordlysene. Heldigvis for Birkeland, tok han med seg et magnetometer til fjellet og kunne sammenligne sine egne målinger med tilsvarende målinger ved lavere breddegrader.

Birkeland gir en sammenligning av kraftige variasjoner i den magnetiske vertikalkomponenten observert på Haldde med samtidige variasjoner i alle de tre magnetiske elementene observert i Petersburg, København, Potsdam, Paris, Greenwich og Toronto. Han mente at det var eksperimentelt påvist, ved hjelp de magnetiske variasjonene,



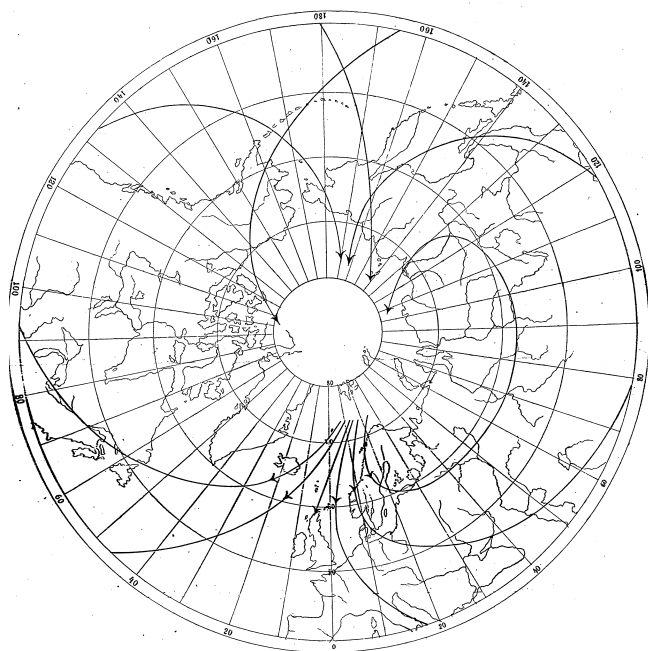
Figur 8.1: Frontsida av rapporten fra ekspedisjonen til Haldde 1899-1900 (Birkeland, 1902).



at den positive strømmen forbundet med nordlys i den fortynnede atmosfæra var konsentrert i et smalt bånd rundt polarområdene.

Det er interessant å merke seg Birkelands omtale av det globale strømsystemet som han illustrerte med en figur i rapporten (Fig.8.2). Strømmen på tvers av polarområdet fra nord til sør, deler seg i en strømsløyfe mot øst og en mot vest. Pilene viser retningene på de sekundære katodestrålenes (negative ladningers) bevegelser. Birkeland konstaterte også at dette strømsystemet ligger fast i rommet i forhold til sola og at jorda roterer under det (Birkeland, 1902). Modellen er en klar forløper for hva vi i dag omtaler som to-celle systemet av den ionosfæriske strømmen som konvergerer over polen og forgreiner seg mot øst og vest ved lavere bredder.

Til tross for at Birkeland hevdet at studier av nordlyset var hovedmålsettingen for ekspedisjonen, ble det kun omtalt i et appendiks og da bare som en analogi til ulike eksperimenter med utladningsrør. Spesielt benyttet han, som de la Rive, et utladningsrør (Fig. 8.3) som han plasserte på toppen av en magnetpol. Her demonstrerte han et stråleformet lys-bånd som snodde seg som en spiral rundt magnetaksen i én retning

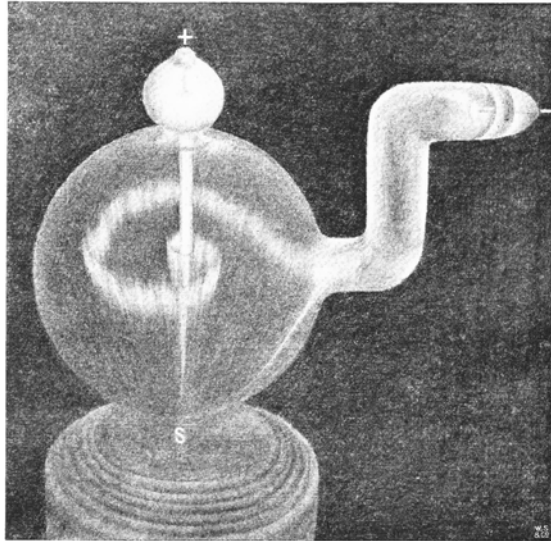


Figur 8.2: Strømsystemet av negative ladninger over polarområdet som deler seg i en vestlig og en østlig sløyfe ved lavere bredder, slik Birkeland så det for seg (Birkeland, 1902).

og i motsatt retning når magnetpolen ble snudd. «*Dersom virkelige Nordlysbaand, som det altsaa synes, er lignende elektriske Strømbaaand, der gaar noegenlunde parallelt med Jordens Overflade, saa maa disse nødvendigvis gaa i Retning af magnetisk Øst-Vest overalt-*» (Birkeland, 1903).

Birkeland var imidlertid ikke sikker på hvilke stråler som gjaldt og mente at de radioaktive strålene som den franske fysikeren Henry Bequerel (1852–1908) hadde oppdaget fra Radium, og som ble påvirket av magnetiske felt, også kunne være en kandidat som kilde til nordlysene (Birkeland, 1902). Som en konklusjon på sin nordlysekspedisjon til Haldde kunne Birkeland slutte: «*For min del framfører jeg en idé, på bakgrunn av gjennomførte studier av hvordan katodestråler suges inn mot en magnetisk pol, at nordlyset skyldes stråler av tilsvarende type som sendes ut fra sola.*» (Birkeland, 1903).

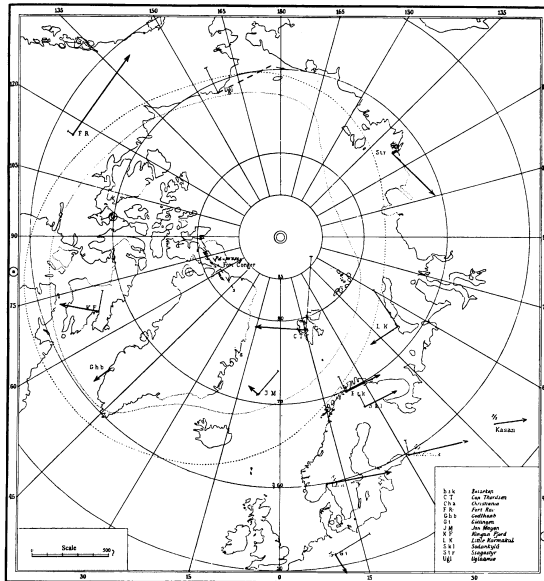
Figur 8.3: Utladningseksperiment der Birkeland demonstrerte hvordan lysbuen snør seg rundt et magnetisk felt (Birkeland, 1902).



## Birkelands endelige strømmodell

Birkeland hevdet at hans egen teori var å foretrekke framfor tidligere framførte teorier siden eksistensen av de antatte strømmene var bevist ved de magnetiske forstyrrelsene som de medførte. Siden han hadde funnet at disse strømmene var begrenset til et smalt bånd rundt polen, mente han at man måtte ha flere observasjonsposter i Arktis for å få et mer detaljert bilde av strømmene (Birkeland, 1903). Derfor argumenterte han for å gjennomføre en større ekspedisjon til 4 ulike stasjoner vinteren 1902–03. Han fikk igjen støtte av Stortinget til å etablere stasjoner både på Island, Novaja Zemlja og Svalbard samtidig som han opprettet en stasjon i Kåfjord.

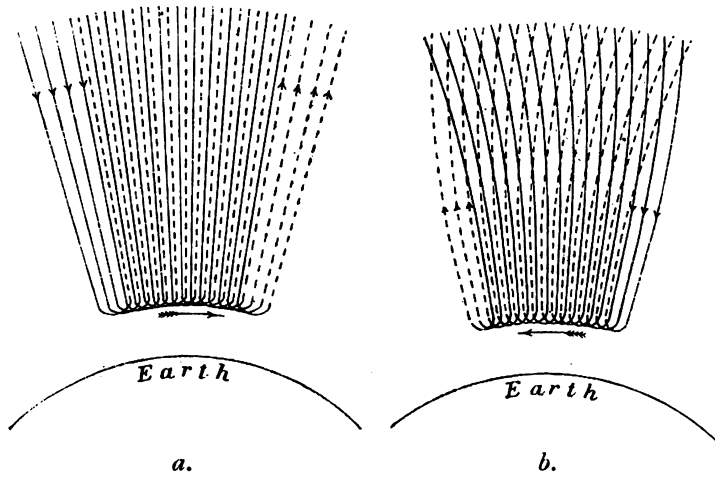
Birkeland ga et foredrag for Videnskabselskabet i Christiania i 1907 hvor han presenterte resultater fra nordlysekspedisjonen 1902–1903. Han hadde samlet inn fotografiske magnetogrammer fra 20 magnetiske observatorier verden over og presenterte verdenskart hvor han hadde tegnet inn piler som representerte de magnetiske forstyrrelsene ved de ulike observatoriene (Fig. 8.4). Birkeland mente at i Polarområdet, hvor strømmene har sitt maksimum ved midnatt, kunne disse, som han trodde befant seg ca. 500 km over bakken, komme opp i styrker på 1 million ampere. «Dette Resultatet stemmer med Størmers Undersøgelser, forsaavidt som han har fundet, at Katodestraaler fra Solen kun i Nordlysbeltet kan komme nogenlunde nær ind mod



Figur 8.4: Kart som tilsvarende Birkeland viste under sitt foredrag for Videnskabselskabet i Christiania. Pilene illustrerer retningen på de magnetiske utslagene (Birkeland, 1913).

Jorden.» (Birkeland, 1907).

Med bakgrunn i ekspedisjonen skrev Birkeland sitt imponerende hovedverk; *The Norwegian Aurora Polaris Expedition, 1902–03* på over 800 sider i stort format (Birkeland, 1908, 1913). Her raffinerte Birkeland strømsystemet der han hevdet at: «*The entire current system belongs to the earth. (1) The current lines are rally lines where the current flows upon the earth's surface, or rather at some height above it. (2) The current is maintained by a constant supply of electricity from without. The current will consist principally of vertical portions. At some distance from earth's surface, the current from above will turn off and continue for some time in almost horizontal direction, and then either once more leave the earth, or become partially absorbed in its atmosphere.*» (Fig. 8.5). Disse horisontale strømmene satte han i forbindelse med de magnetiske forstyrrelsene (de elementære magnetiske stormene) som ble observert med magnetometer på bakken. Igjen ble nordlysene stort sett omtalt med bakgrunn i laboratorie- (terrella-) eksperimenter.

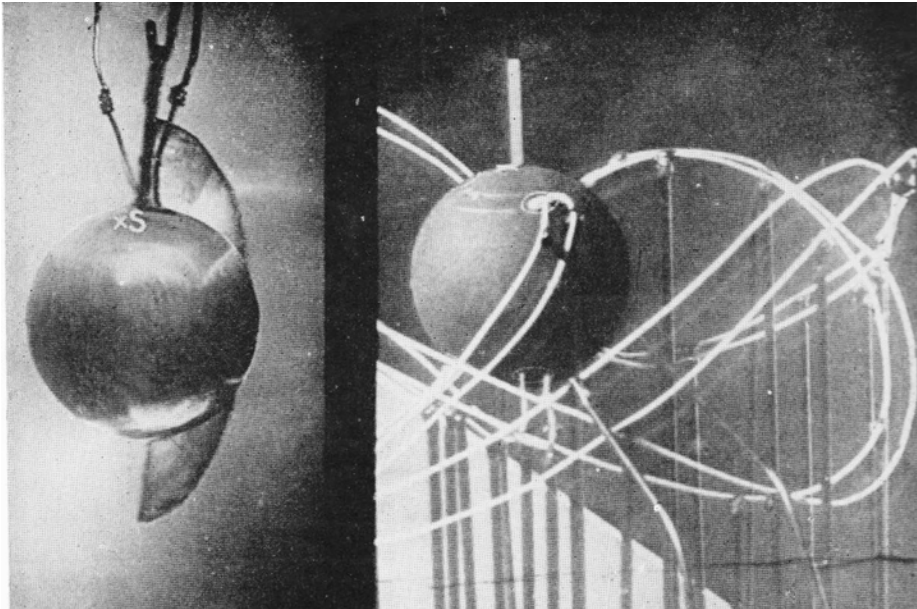


Figur 8.5: Skisser som viser Birkelands strømmodell hvor loddrette strømmer lukkes med en strøm langs nordlysbuen parallelt med jordens overflate (Birkeland , 1908, 1913).

## Partikkelbane-beregninger av Carl Størmer

Da Fredrik Carl Mülertz Størmer (1874–1957) kom hjem fra et studieopphold i Gøttingen jula 1902, viste Birkeland ham sine nordlys eksperimenter. Dette inspirerte Størmer til å ta fatt på beregninger av elektronenes bevegelser i et magnetisk dipolfelt (Fig. 8.6), noe han gikk inn for med entusiasme. Han regnet og han regnet på banene til partiklene som han «skjøt ut som kanonkuler» fra sola med alle tenkelige initialbetingelser. «I det theoretiske skydeforsøg gjælder det at sende et elektron ud af solen med en hastighed og en retning slik at det træffer jorden» (Størmer, 1927).

Nå var det ikke så enkelt å treffe blink dvs. Nordlyssonen, ved å skyte partikler ut fra vilkårlige steder på sola. Et problem som Størmer møtte på ved sine beregninger, var at nordlyspartiklene hans traff jorda nærmere polen enn Nordlyssonen som befinner seg ca.  $23^\circ$  sør for den geomagnetiske polen. Størmer mente at dette kunne forklares ved å anta at det ute i ekvatorplanet gikk en strøm rundt jorda som svekket magnetfeltet noe. Dette fant han sterke bevis for ved magnetiske stormer hvor nordlyset kunne sees langt sør i Europa og hvor magnetfeltet ved ekvator samtidig



Figur 8.6: En sammenligning av Birkelands kunstige nordlys framskaffet i Terrella-eksperimentet, til venstre og partikkelbaner beregnet av Størmer, til høyre (Størmer, 1955).

ble svekket med flere hundre gamma. Her berørte Størmer det som vi i dag vil kalle den ekvatoriale ringstrømmen (Størmer, 1955).

På et møte den 22. januar i 1904 holdt Størmer et foredrag for Videnskabs-selskabet i Christiania hvor han gjorde rede for sine beregninger av bevegelser til elektrisk ladede partikler under innflytelse av en enkel magnet. I referatet fra dette møtet ble det påpekt at Størmer var: «*kommen til en Del matematiske Resultater, som muligens kunde forklare nogle karakteristiske Træk ved Nordlysets Natur*» (Størmer, 1904). Størmers beregninger var basert på partikkelbaner i et idealistisk og statisk tilfelle hvor jordas magnetfelt er et dipolfelt, og i denne situasjonen var det områder rundt jorda som partiklene ikke kunne trenge inn i. Da strålingsbeltene ble oppdaget av van Allen i 1958 (van Allen, 1983) ble det klart at dette var Størmers *forbudte områder*. Siden jordas magnetfelt ofte blir utsatt for sterke forstyrrelser, er ikke Størmers statiske antakelser alltid oppfylt og partikler kan trenge inn i de *forbudte områdene*. Når magnetfeltet faller til ro igjen, vil noen av disse partiklene ha problemer med å

komme ut igjen derfra, dermed dannes strålingsbeltene.

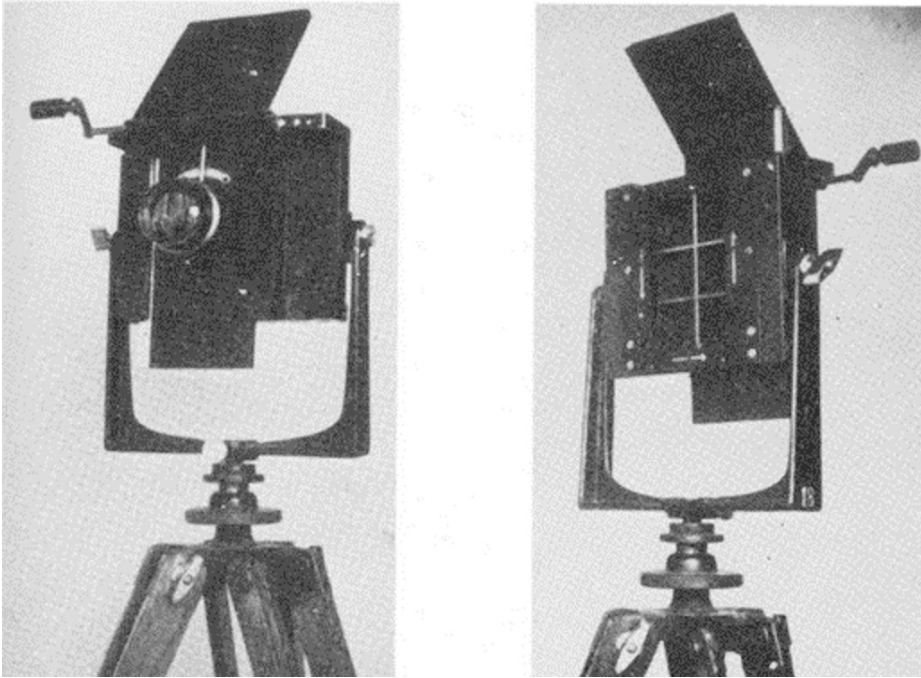
Viktig var det også at Størmer kunne påvise at partiklene strømmet langs jordas magnetfelt i spiralbaner der radien i spiralen er et mål på energien til partiklene. Som endelig forklaring på dannelsen av nordlysstråler, dugde Størmers beregninger ikke. Ved hjelp av målinger fra satellitter og raketter er det påvist at nordlyspartiklene, på sin ferd fra sola til jorda, passerer et elektrisk potensial på ca. 10 kV mellom magnetosfæren og ionosfæren i de polare strøk. Dette var en faktor Størmer ikke hadde forutsetning for å ta inn i beregningene sine. For kosmisk stråling derimot, har Størmers resultater hatt stor betydning helt til vår tid.

## Ny tid på Haldde

Etter hvert som Størmer løste regneproblemene forbundet med bevegelser av elektriske partikler i et dipolfelt, fant han det mer og mer nødvendig å skaffe seg flere fakta om nordlyset for å sammenligne teoriene med observasjoner.

I begynnelsen av februar 1910 reiste Størmer sammen med assistenten Bernt Johannes Birkeland til Bossekop. De installerte seg ved henholdsvis Alta Kirke og Alta skole, i en avstand av bare 4310 m fra hverandre, men med telefonisk forbindelse. For Størmer var denne første ekspedisjonen til Bossekop en utprøving av triangulerings-teknikken med fotokamera og telefonforbindelse mellom stasjonene. Han beviste med dette at metoden var praktisk gjennomførbar, men var klar over at målingene var meget usikre «ja sogar illusorisch sein können...» (Størmer, 1911). Den store usikkerheten gjorde at han i sitt videre arbeide så bort fra disse målingene (Størmer, 1955).

Birkeland ble trukket inn i oppbyggingen av Norsk Hydro og det ble stille på Haldde helt fram til mai 1910. Da besøkte Birkeland stedet sammen med assistenten Ole Andreas Krogness (1868–1934). Det er nesten ufattelig at dette prestisjetunge bygget for nordlysforskning kunne stå ubrukt i nesten 10 år, men det demonstrerer en generøs tillit fra myndighetene til academia som savner sitt sidestykke i dag. Birkeland ble så begeistret for Haldde at han i et brev til Kirkedepartementet 28. september 1910 søkte om en bevilgning til å opprette et «magnetisk og meteorologisk» observatorium som skulle holdes i drift i et minimum på 22 år, dvs. to solflekksyklus. Søknaden ble oversendt til Universitetet i Oslo og Det Meteorologiske Institutt, som begge anbefalte initiativet, og bevilgning ble gitt. Ved hjelp av egne bidrag og støtte



Figur 8.7: Bildet viser Krogness-kameraet. Objektivt er plassert i en mekanisk sklie som gjør det enkelt å sette den i 6 ulike posisjoner (Størmer, 1955).

av nestoren Henrik Mohn (1835–1916), stod det nye bygget klart i 1912. Den 1. Oktober samme år tiltrådte Cand. Real. Krogness som bestyrer på «den mest utsette og værharde boplass her i landet...» (Devik, 1971).

1. januar 1915 ble det opprettet et «værvarslingsystem for Nord-Norge» ved Halde-stasjonen med Cand. Real. Olav Devik (1886–1987) som leder. Hans viktigste oppgave var å forbedre stormvarslingen i landsdelen spesielt med hensyn til de farefulle arbeidsforholdene som fiskere og fangstfolk levde under langs kysten.

## Høydemålinger av nordlys

Høsten 1912 ankom amanuensis Lars Vegard (1880–1963) Bossekop for å studere fargespektret i nordlysene. Han installerte seg i *Aurora Borealis*, stedet i Bossekop som

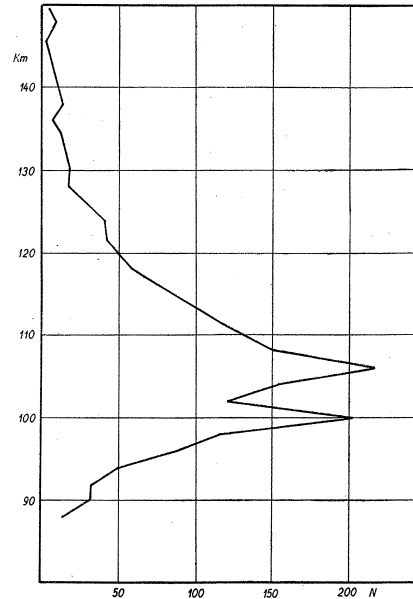


Haldde observatoriet hadde kjøpt, ca. 12.5 km fra Haldde. Nå var ikke triangulering av nordlyshøyder et prioritert mål med ekspedisjonen for Vegard, men siden hans god venn og kollega Krogness allerede var installert på Haldde, lå forholdene godt til rette for å utføre trianguleringer med en lengre basislinje enn det Størmer hadde gjort.

Krogness var en dyktig instrumentmaker som konstruerte et spesielt kamera som ble flittig benyttet i nordlysforskningen (Fig. 8.7). Kameraet, som hadde kun en plate i kassetten, gjorde det mulig å ta 6 bilder på hver plate. Kassetten var festet i kameraet på en slik måte at det kunne skyves både i horisontal og vertikal retning, og dermed kunne de ulike delene av platen bringes suksessivt foran kamera linsa (Vegard and Krogness, 1920).

Krogness eksperimenterte også med et filmkamera og lyktes etter flere forsøk å ta en billedserie på ca. 500 bilder under en magnetisk storm den 4. Desember i 1913. Dette var første gangen magnetogrammer ble koordinert med filmopptak av nordlys. Det illustrerte, mente han, en metode for å sammenligne forekomsten av nordlys med samtidige magnetisk forstyrrelser som kunne komme til å bli verdifull i framtida (Vegard and Krogness, 1920). Det kan vi slå fast at det er utallige studier av *nordlys-substormer* som er nedlagt opp til vår tid, hvor filmopptak av nordlys og magnetogrammer har dannet hoveddelen av datagrunnlaget.

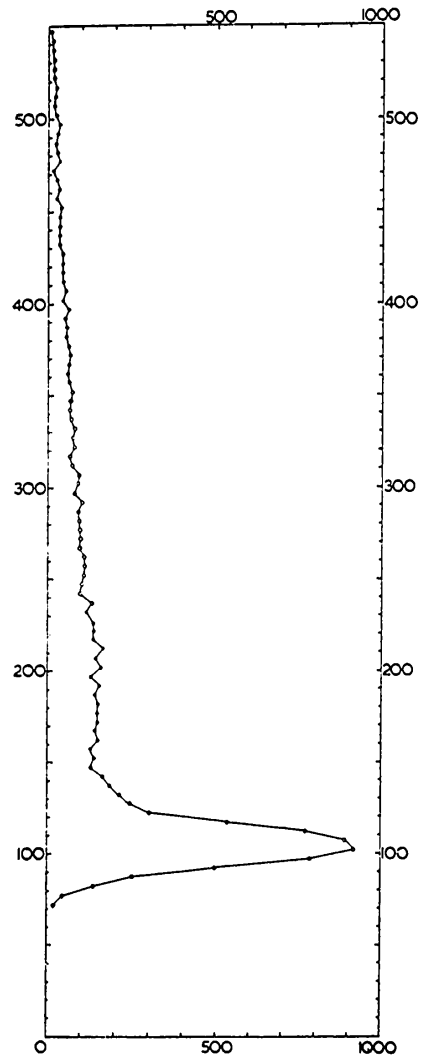
Størmer og Vegard rapporterte til Vitensspasakademiet i Christiania ved flere anledninger om bearbeidelsen av det store datamaterialet fra nordlysekspedisjonene til Finnmark. De var begge enige om at de fleste høydemålinger av punkter i nordlys grupperte seg omkring høydene 101 og 106 km (Fig. 8.8), noe de trodde



Figur 8.8: Figuren viser de to markerte høydene ved henholdsvis 101 og 106 km som høydemålingene av nordlysene samlet seg rundt (Vegard og Krogness, 1920).

skyldtes forskjellige sorter elektriske *korpuskuler* med ulik gjennomtrengningsevne i atmosfæren (Størmer, 1916). Vegard hevdet i et foredrag for Vitenskapsakademiet i 1916 at dette resultatet bekreftet at sola måtte sende ut nøytrale strålegrupper «..grupper av homogenelelektriske straalер..» (Vegard, 1916). I en rapport av Vegard og Krogness heter det at dersom disse maksima er reelle, må den kosmiske strålinga fra sola være sammensatt av to grupper, «..hver som har sine egne veldefinerte gjennomtrengningseffekter..» (Vegard and Krogness, 1920). Denne bifurkasjonen skulle komme til å danne et sentralt tema for den videre diskusjonen om nordlyset blant de norske forskerne.

Fra 1911 organiserte Størmer seg med flere assistenter på ulike steder særlig på Østlandet som var forbundet med telefon (Størmer, 1927). På bakgrunn av samtidige observasjoner fra disse kunne han beregne høydene av 12330 nordlyspunkt over Sør-Norge. De målte punktene lå delvis i den nedre delen av nordlysene og delvis i den øvre delen, og delvis mellom disse ekstreme (Størmer, 1955). De fleste målte høydene befant seg mellom 100 og 110 km over bakken og viste ingen dobbel topp (Fig. 8.9).



Figur 8.9: Størmers figur som illustrerer høydefordelingen av 12330 «nordlyspunkt» observert over Sør-Norge i tiden 1911–1944. (Størmer, 1955).

## Striden om Birkelands nordlysteori

En hovedinnvending mot Birkelands nordlysteori var at katodestrålene (elektronene) alene ikke kunne skape de magnetiske forstyrrelsene, men de måtte være ledsaget av tilsvarende positive ladninger på sin ferd fra sola, ellers ville det oppstå et elektrisk potensial mellom sola og jorda som ville stoppe de ladete strålene (Schuster, 1911).

Nå gjorde Birkeland det ikke så lett for sine kollegaer i samtida å bli kjent med hans egne arbeider, selv om de var publisert både på fransk og engelsk, idet hovedverket ble utgitt av et norsk forlag i et noe krevende format. Den ofte omtalte konflikten mellom den såkalte «*British school*» og «*Skandinavian School*» representerer en strid mellom den svenske fysikeren Hannes Alfvén (1908–1995) og den engelske Sidney Chapman (1888–1970) som var i en hard debatt på midten av forrige århundre (Egeland and Bruke, 2005). Terrella-arbeidene som engelskmennene overså, var vel ikke helt enkle å skalere over til den reelle jord. Ideene til Birkeland var brillante, men han dro resultatene fra eksperimentene sine vel langt i forhold til realitetene.

27. mars 1910 observerte Vegard noen nordlys draperier på en tur i Jotunheimen og hevdet at de så ut som om de var dannet av stråler av  $\alpha$ -partikler (Vegard, 1911a). Senere forsterket han sin oppfatning om at *alpha*-stråler fra radioaktive områder på sola var kilden til draperte bånd og trolig andre nordlysformer (Vegard, 1911b).

Under et foredrag for *Videnskabselskabet i Christiania* i 1916, sa Vegard at de foreløpige resultatene som var oppnådd på Haldde, bekreftet det som Størmer allerede hadde antydnet, at en stor del av nordlyset skyldtes to bestemte grupper av elektriske stråler fra sola. «*Videre kan man slutte at solen kun besidder et forholdsvis ringe elektrisk felt, og at den i tidsenheten maa utsende like store mengder av positiv og negativ elektrisitet*», konkluderte Vegard (Vegard, 1916a).

I en presentasjon på et fellesmøte i *Videnskapsakademiet* i 1914 sa Størmer at et fundamentalproblem ved nordlysteorien var spørsmålet om nordlyset ble dannet av positive eller negative elektriske partikler. Den første teorien ble forfektet av Vegard den andre av Birkeland, sa han. Størmer kunne videre opplyse at han hadde fått utlånt magnetiske registreringer fra Haldde observatoriet som viste en virkning svarende til positive elektriske partikler. «*Vegards antagelse er derfor vistnok riktig for dette nordlyset; tiden vil vise om det også holder slik i almindelighet.*» (Størmer, 1914).

Her skulle det vise seg at en kontrovers blant de norske nordlyspionerne kom til overflaten idet Birkeland, fra sin selvvalgte isolasjon i Helwan i Egypt 1915, angrep

Størmer for hans antagelse om positive stråler som kilde til nordlysene. Den 27 sider lange artikkelen er noe arrogant i tonen idet Birkeland hevder at han hadde eksaminert 2400 magnetogrammer mot Størmers ene, og derfor hadde mer erfaring enn Størmer. Videre hevdet Birkeland: «*After this it seems as if we have to admit that the sun under different circumstances by electric eruptions, frequently of very short duration, can send out rays that reach the earth.*» (Birkeland, 1916). Man må etter dette kunne slå fast at Birkeland helt til det siste levde overbevist om at nordlyspartiklene kunne nå ned til bakken.

Størmer ga et kort tilsvaret til Birkeland som ble trykket i samme tidsskrift året etter. Når det gjaldt spørsmålet om nordlyset ble dannet av positive eller negative partikler, skrev Størmer at hans utsagn, som ble så kraftig kritisert av Prof. Birkeland, var gjort med stor forsiktighet. Han hadde ikke sagt mer enn at det syntes å være bevist at nordlyset ble dannet av positivt ladete elektriske partikler. Til slutt ga Størmer Birkeland et svar av samme mynt, idet han slo fast at den nedre grensen som var beregnet fra 2500 valgte punkt i nordlyset under ekspedisjonen til Bossekop i 1913 «*proves that the auroras observed cannot be due to such penetrating and rigid negative rays as Prof. Birkeland alleges are the cause of Aurora Borealis.*» (Størmer, 1917).

I en artikkel så sent som i 1927 diskuterte Størmer Birkelands teori og hevdet at ingen annen teori hadde kunnet forklare så mange karakteristiske trekk med nordlyset. Allikevel var problemet kun delvis løst. Banene for enkelte elektroner var beregnet, men når store masser av elektroner beveger seg samlet, kommer nye krefter til, slike som elektriske og magnetiske vekselvirkninger mellom elektronene selv, «*og denne kan bli så overveiende at fenomenet blir helt nyt og matematiske vanskeligheter næsten uovervindelige.*» (Størmer, 1927a).

I et forsøk på å gi et objektivt syn på kontroversen, må vi kunne si at mens Størmer hentet sin kunnskap om nordlyset fra fotografering og triangulering i naturen samt nitide beregninger av banene til elektriske partikler i magnetiske felt, fikk Birkeland sine ideer i hovedsak fra Terrella eksperimenter og simulerte nordlys. Kontroversen gir et inntrykk av at den ikke kun var en faglig uenighet, siden det var Vegard og Shuster som først hevdet at positive partikler også kunne spille en rolle i dannelsen av nordlys, men det var Størmer som ble angrepet. Striden var heller en intern strid i det norske nordlysmiljøet og ikke en konflikt mellom den såkalte «*British school*» og «*Scandinavian School*».

## Den grønne linja

Det var den svenske fysikeren Anders Jonas Ångström (1814–1874) som først målte bølgelengden av den grønne nordlyslinja i 1867 (Ångström, 1868). Å endelig bestemme denne bølgelengda nøyaktig, samt finne kilden til lyset, ble en utfordring for det norske nordlysforskermiljøet i nesten et halvt århundre.

Vegards hovedmålsetning ved reisen til Bossekop vinteren 1912-13 var, som allerede nevnt, å studere spektrene av nordlysene. Verdien av disse studiene strakte seg imidlertid langt utover det å identifisere de ulike nordlyslinjene. Ved å tolke nordlysspektret, lærte man ikke bare om den kjemiske sammensetningen i den øvre atmosfæren, men også egenskapene ved den «..kosmiske nordlysstrålingen fra solen..» (Vegard, 1916b).

Ved hjelp av en spektrograf Vegard hadde tatt med til Bossekop målte han 3 bølgelengder i den blå og fiolette delen av spektret som han mente var del av det første negative båndet av ionisert Nitrogen. Den grønne linja som han hadde målt med en usikkerhet på flere Å, mente han også var naturlig å anta kom fra Nitrogen. Før nøyaktigere målinger forelå, kunne han ikke avgjøre kilden til linja (Vegard, 1923a). Høsten 1921 tok han igjen opp spektralstudier med et prismespektroskop som han monterte nært sitt hjem i Bygdøy. Med tanke på den grønne linja, skrev han at selv om linja var bestemt med så stor nøyaktighet at feilen var bare en del av én Å; «..the origin of the line remains as mysterious as ever...» (Vegard, 1923b). Og mysteriøs skulle den fortsette å bli enda noen år.

Vegard søkte stipend og reiste til det berømte laboratoriet Kamerling Onnes Kuldelaboratorium ved universitetet i Leiden i 1924 og mente å påvise at frossen nitrogen som ble bombardert med elektronstråler under svært lave temperaturer, kunne emitte den grønne linja. Sammenligningen viste at det typiske nordlysspektret var emittert fra frossen nitrogen, og dermed var hypotesene hans om beskaffenheten i den øvre atmosfæren fastlagt, (Vegard, 1924). Oppdagelsen ble en sensasjon og Vegard vandt verdensry så lenge det varte (Torstveit, 2005–2006).

Vegard tilla på bakgrunn av sine spektralmålinger av nordlyset, Nitrogenstøv en dominerende rolle i den øvre atmosfæren ut til 300 km over bakken (Vegard, 1923b) (Fig. 8.10). Dette var i kontrast til Wegeners modell (Wegener, 1910) som var den rådende på 1920-tallet og ga plass til både helium og hydrogen i store høyder. Vegards forklaring på hvordan de tunge partiklene kunne holdes oppe og dominere i så store

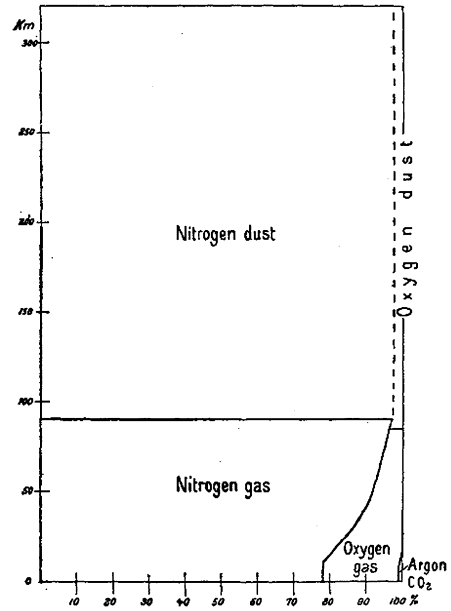
høyder var at de ble ioniserte av de innkommende partikkelstrålene og holdt oppe av et vertikalt elektrisk felt.

I 1923 fastla H. D. Babcock (Babcock, 1923) bølgelengden til den grønne linja til 5577,35 Å med stor presisjon. Det ble endelig Canadierne Mc. Lennan og Shrum som skulle få gleden av, i 1925, å bevise at den grønne linja kommer fra overgangen  ${}^1D_2 - {}^1S_0$  i Oksygenatomet (McLennan and Shrum, 1925, McLennan et al., 1927).

Det var nok en bitter pille å svelge. Vegard stod fast på sin egen forklaring om at den grønne linja er knyttet til nitrogen, og skyldes en elektronisk overgang som former et framtrædende bånd, «*conspicuous band*», når nitrogen i fast form bombarderes av elektroner. Det at intensiteten i den grønne linja faktisk var sterkere enn i noe nitrogen band, indikerte at eksitasjonen

$O^1S_0$  - tilstanden ble dannet av sekundær-kollisjoner mellom oksygen og en eksitert form av nitrogen. Han hevdet videre at oksygen eksisterer i de øverste delene av atmosfæren i form av ozon ( $O_3$ ) og at nitrogen i ( $N_2^A$ ) tilstand kunne overføre sin energi til  $O_2$  (Vegard, 1933). Nå skulle det etter hvert vise seg at i tillegg til direkte partikkel bombardement av O, er kollisjoner mellom  $O_2$  og  $N_2$  en annen sannsynlig kilde til  $O^1S_0$  tilstanden (Henriksen, 1974, Henriksen and Egeland, 1988).

Det er trolig at Vegard og hans assistenter observerte flere spektra av nordlysene enn noen annen gruppe nordlysforskere i verden, og som en lønn for strevet ble også Vegard hedret med betegnelsen Vegard-Kaplan båndet på en emisjon fra det metastabile Nitrogen molekylet  $N_2^A$ .



Figur 8.10: Vegards modell av sammensetningen i atmosfæren som viser at i høyder over 100 km forventet han at Nitrogenstøv dominerte (Vegard, 1923b).

## Opprettelsen av Nordlysobservatoriet

Etter hvert ble Vegard en internasjonalt ledende nordlysforsker og han så det som en viktig oppgave å skaffe bedre vilkår for utforskninga av de høyeste atmosfærelagene ved hjelp av nordlysspektret og andre hjelpemidler. Til dette krevdes et hensiktsmessig innredet institutt med en fast stab av forskere og hvor man kunne arbeide på lang sikt (Vegard, 1955).

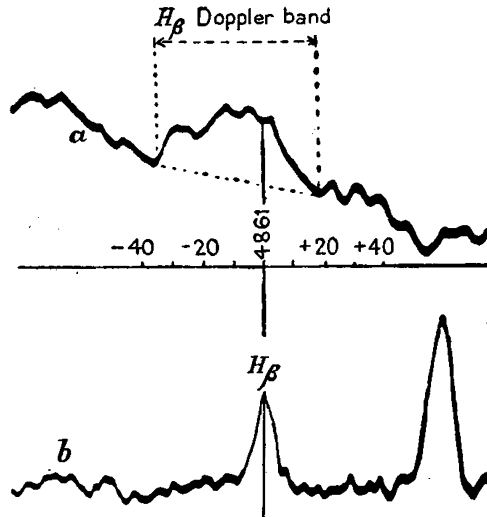
Venner og kollegaer i utlandet, som lærte om Vegards planer, rådet ham til å henvende seg til *The International Education Board* i New York eller Rockefellerstiftelsen. Stiftelsen stilte seg positiv til forslaget om å opprette et Nordlysobservatorium i Nord-Norge.

Da Vegard fikk se terrenget nord for Prestvannet kunne han rope: «Eureka!» «Her fant jeg nettopp det terreng og den tomt jeg håpet å finne. Jeg tror vi kan være enige om at det var et lykkelig valg.» (Vegard, 1955). Cand. Real. Leif Marius Harang (1902–1970) ble tilsatt som bestyrer den 1. juli 1928 og ved årsskiftet 1928–29 ble Cand. Real. Einar Tønsberg (1900–1970) tilsatt som amanuensis ved Nordlysobservatoriet. Innvielsen av Nordlysobservatoriet fant sted den 7. august 1930.

## Protonnordlyset

Vegard var tidlig inne på tanken om at katodestrålene fra sola måtte være nøytrale, slik at de negative partiklene var ledsaget av tilsvarende positive partikler (Vegard, 1916a). Den første indikasjonen på at hydrogen hadde en rolle i dannelsen av nordlys fikk Vegard da han registrerte noen spesielle spektra under et nordlysutbrudd over Oslo tidlig på kvelden den 18. Oktober i 1939 (Vegard, 1939). Disse målingene ble senere bekreftet ved observasjoner utført av Vegard og Tønsberg våren og høsten 1940 (Fig. 8.11). Etter nøye vurderinger kunne Vegard slå fast: «Jeg fant at den utbredte linja uten tvil var den Doppler forskjøvne  $H\beta$ -linja, og at hydrogen atomer var i raske bevegelser». Ikke uten en betydelig grad av stolthet kunne han endelig konkludere: «Doppler-forskyvningen av  $H\beta$  viser dermed, i overensstemmelse med den tidligere foreslåtte teorien, at protonene danner en del av den elektriske strålen som danner nordlyset». «We were observing the Hydrogen shower,» kunne han triumferende konstatere (Vegard and Tønsberg, 1952).

Den Andre Verdenskrig gjorde nok sitt til at de internasjonale atomfysikerne



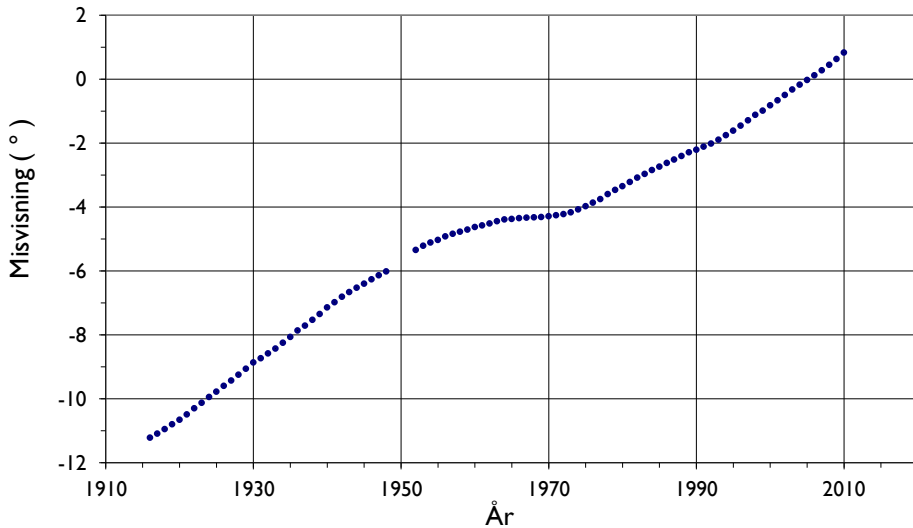
Figur 8.11: Øverste. Den Doppler forskjøvne  $H\beta$ -linja observert i Tromsø 14–20 oktober 1941. Nederst.  $H\beta$ -linja observert i laboratoriet. Observasjoner utført av Vegard and Tønsberg (1952).

skiftet fokus slik at nordlysfysikken kom i bakgrunn og Vegard fikk ikke den oppmerksomheten for oppdagelsen av protonnordlyset som han forventet. «*Det kom ein tung ironi over nordlysforskinga hans. Der han tok mest feil, fekk han størst publisitet og hylling. Der han fekk rett, var omtalen sparsam*» (Torstveit, 2008).

## Studier av magnetiske forstyrrelser

Krogness arvet interessen for magnetiske studier etter Birkeland, og som mentoren hadde erfart, innså også Krogness at det var for stor avstand mellom de ulike magnetiske observatoriene omkring i Arktis, om man skulle få mer realistiske bilder av de elektriske strømmene i atmosfæren under nordlys. De nærmeste observatoriene var i nærheten av København og Petersburg. Krogness tok derfor til orde for å etablere et nytt observatorium på Dombås og fikk støtte av Birkeland som skrev: «Det vilde være fortrinnsvis at faa en magnetisk stasjon på Dovre; der ville Enebo kunne gjøre vi-

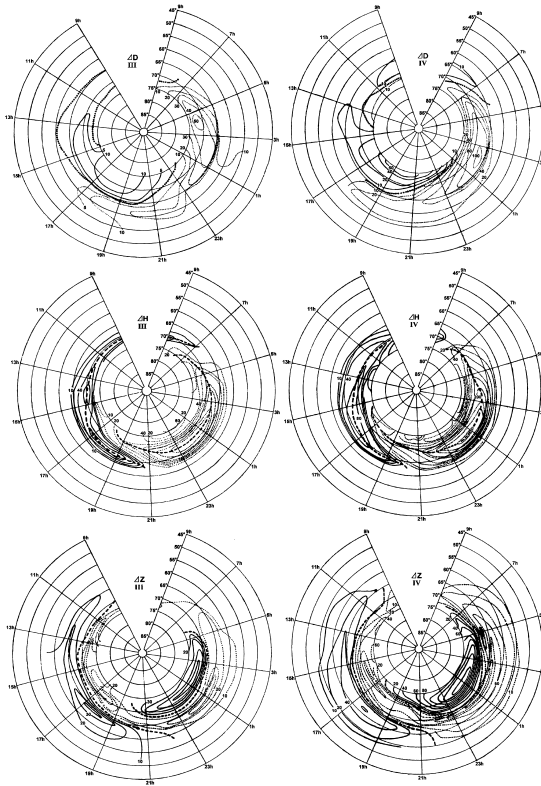




Figur 8.12: På Dombås finner vi den lengste måleserien av det magnetiske feltet noe sted i Norge. Her er misvisningen slik den har forandret seg fra  $11^\circ$  vest i 1916 til  $1^\circ$  øst i 2010. Kilde: Tromsø Geofysiske Observatorium

denskapen en stor tjeneste.» (Krogness, 1982). Astronom Sigurd Enebo (1866–1947), som bodde på Dombås, hadde i 1912 gjort seg verdenskjent med oppdagelsen av en super nova. Stortinget bevilget igjen penger og dermed kom det magnetiske observatoriet på Dombås i drift fra begynnelsen av 1916. De magnetiske observasjonene her fra, representerer dermed den lengste dataserien vi har for magnetfeltet noe sted i Norge (Fig. 8.12).

Kort tid etter at registreringene av magnetfeltet begynte ved Nordlysobservatoriet ble magnetometre installert på Bjørnøya og på Spitsbergen. Ved å sammenholde målinger fra Tromsø, Bjørnøya og ni andre observatorier, fant Harang at de elektriske strømmene i atmosfæren vel 100 km over bakken, skiftet retning fra å være rettet østover tidlig på kvelden til vestover rundt midnatt og senere (Fig. 8.13), noe som bekreftet modellen til Birkeland fra 1902 (Harang, 1951). Skillelinjen mellom disse områdene har fått en internasjonal benevnelse og kalles The Harang discontinuity til minne om hans pionerinnnsats. Det er denne forandringen i polariteten av strømmen som avgjør om man observerer en positiv eller negativ forstyrrelse i magnetfeltet



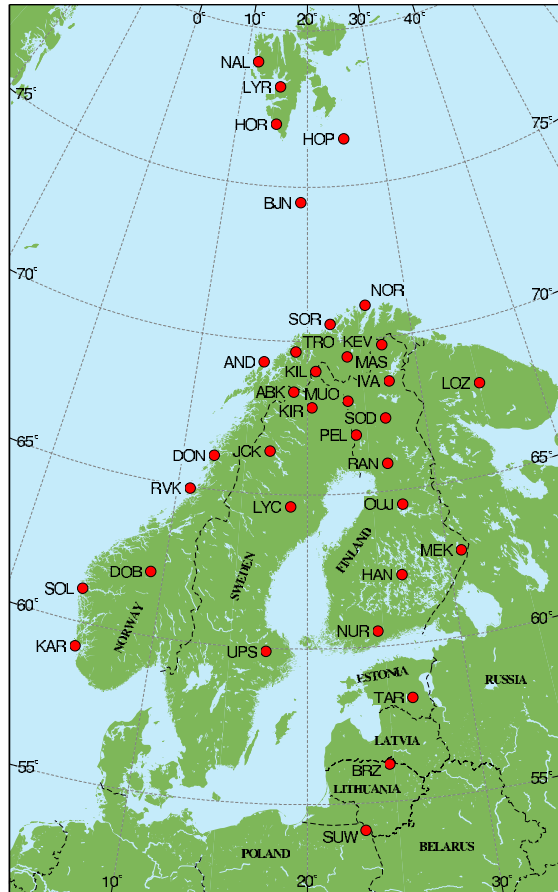
Figur 8.13: Figurene viser hvordan Harang kartla de elektriske strømmene ved høye breddegrader. De delte seg fra østover rettede om kvelden til vestover rettede om morgenen. Skillet mellom disse har fått navnet *Harang diskontinuiteten*. (Harang, 1946)

(Heppner, 1972). Harangs arbeider om strømretningene i den polare ionosfæren, var et viktig grunnlag for Konveksjonsmodellen til Axford og Hines (Axford and Hines, 1961).

I dag inngår de magnetiske observatoriene i Norge i et større Nordeuropeisk nettverk IMAGE (International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects) der 10 institusjoner samarbeider og styrer 35 magnetiske observatorier (Fig. 8.14).

Data fra dette nettverket blir benyttet til å studere elektrojeten i nordlyset og hvordan dette to-dimensjonale strømsystemet flytter seg på Nordkalotten. Data fra IMAGE blir også benyttet til å studere geomagnetisk induksjon i kraftlinje-nettverk, rørledninger og lignende, sammen med langtidsvariasjoner i magnetfeltet i nordlyssonen.

Figur 8.14: Kart som viser nettverket IMAGE (International Monitor for Auroral Geomagnetic Effects) av magnetiske observatorier i Nordeuropa. Kilde: IMAGE



## Observasjoner av ozon-innholdet i atmosfæren

I 1929 hadde Harang og Krogness diskutert mulighetene for å gjøre spektrometriske målinger av ozoninnholdet i atmosfæren med månen som lyskilde. Men det ble først og fremst Tønsberg som engasjerte seg i ozonforskningen ved Nordlysobservatoriet. Han hadde på et oppdrag fra Krogness møtt Dr. Hilding Køhler (1888–1982) på Haldde vinteren 1925–26. Køhler var en internasjonal kapasitet innenfor studier av ozon innholdet i atmosfæren og den siste bestyreren på Haldde til aktiviteten på observatoriet opphørte 31. august 1926.

I april 1934, fikk Harang et brev fra den verdenskjente pioneren for ozonforskning,

engelskmannen Dr. Gordon Miller Bourne Dobson (1889–1976) fra Universitetet i Oxford, med spørsmål om å få plassere et instrument i Tromsø for å måle innholdet av ozon i en vertikal luftstøyle i de polare strøk. Sommeren 1934 kom Dobson til Tromsø og gjorde en del målinger med spektrografen som han hadde konstruert til formålet. Dette instrumentet var i drift ved Nordlysobservatoriet fra 1935 til 1939 (Langlo, 1951–53). Vinteren 1934–35 var en fransk gruppe i Abisko for å studere ozoninnholdet med en stjernespektrograf, denne lånte gruppen ut til Nordlysobservatoriet etter et besøk der før hjemreisen til Frankrike. Vinteren 1935 befant det seg altså 3 ulike instrumenter for ozonstudier i Tromsø.

Neste sommer skaffet Nordlysobservatoriet nok et instrument fra Dobson (Henriksen og Svendby, 1997) og dette var hovedinstrumentet for ozonmålinger i Tromsø helt til slutten av 60-tallet. Tønsberg tok kontakt med astronom Einbu på Dombås i håp om å kunne engasjere han til å ta på seg ansvaret for å drifte det ene instrumentet, om det ble overført til Dombås. Dette var Einbu villig til. Fra mars 1940 til juni 1946 ble det gjennomført daglige målinger av ozon på Dombås. Tønsberg hadde det vitenskapelige arbeidet med disse observasjonene som ble sendte til Tromsø.

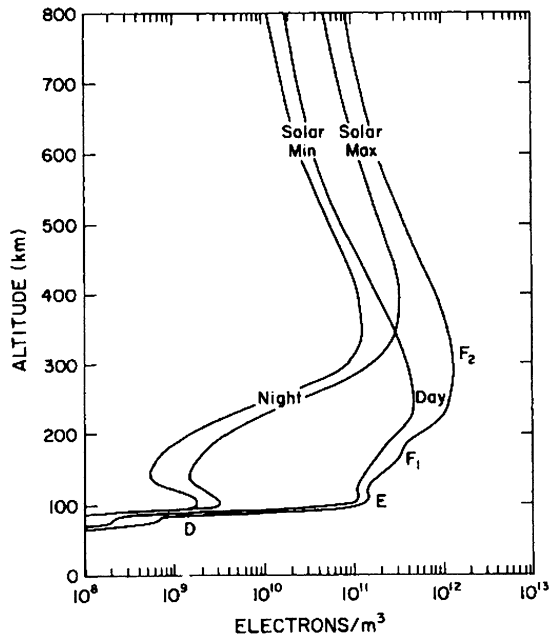
Ozonobservasjonene fikk et avbrudd i Tromsø under implementeringen av *Nordlysobservatoriet i Universitetet i Tromsø* fra 1968. De ble imidlertid gjenopptatt av Kjell Henriksen (1938–1996) i 1984, og ansvaret ble senere overført til *Norsk Institutt for Luftundersøkelser*, (NILU) i Tromsø.

## Radiundersøkelser av den polare ionosfæren

Radiobølgestudiene av ionosfæren, eller de elektrisk ledende lag i den øvre delen av atmosfæren, var ved opprettelsen av Nordlysobservatoriet en ung forskningsgren. I 1925 ble det første elektrisk ledende laget eksperimentelt påvist av engelskmannen Edward Victor Appleton (1892–1965), som demonstrerte, ved å sende kortbølge-radiosignaler opp i atmosfæren, at de kunne mottas med radiomottakere på bakken etter at de var blitt reflektert fra E- og F- lagene mellom 100 og 300 km over bakken (Fig. 8.15).

Appleton og tre assistenter kom til Tromsø i Juli 1932 (Larsen og Berger, 2000). De brakte med seg en rekke utstyr av de best utviklede innen ionosfæreforskning på den tiden, deriblant en ionosonde. Siden nordlyssonen, i radioforsknings sammenheng, må betraktes som jomfruelig grunn tidlig på 1930-tallet, fikk den engelske gruppa

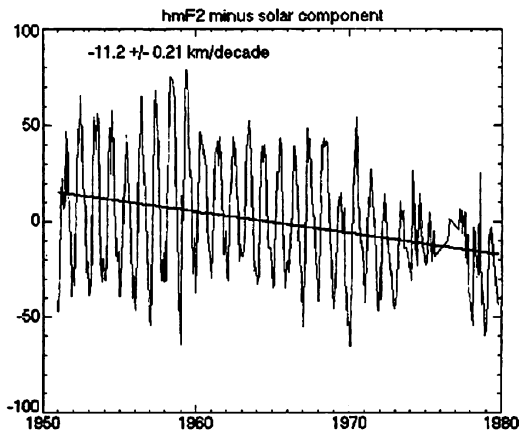
Figur 8.15: De ioniserte lagene D, E, F<sub>1</sub> og F<sub>2</sub> i atmosfæren mellom 80 og 800 km over bakken ved ulike tider på døgnet og sol-aktivitet. (Richmond, 1987)



med seg betydelige resultater for forståelsen av radiobølgeforplantning i den polare ionosfæren etter oppholdet i Tromsø (Holt, 1980). Da engelskmennene forlot byen høsten 1932, forærte de sin ionosonde til Nordlysobservatoriet (Larsen og Berger, 2000).

Samtidig med den engelske gruppa kom også en tysk gruppe på besøk til Tromsø for å utføre ionosfæreundersøkelser under Det Andre Internasjonale Polaråret. Det mest bemerkelsesverdige som tyskerne brakte med seg, var fotoceller som kunne brukes til å registrere variasjoner i nordlysintensitetene samtidig som disse ble sammenholdt med radiomålinger. Dette var en sammenstilling av instrumenter som senere skulle vise seg å bli nærmest en standard å regne innen nordlysforskning. Besøket av Sir Appleton i Tromsø sommeren 1932, og ionosonden han etterlot seg, inspirerte Harang til å engasjere seg i studier av radiobølge ekko fra nordlysene. Ionosonde-målinger har vært rutinemessig gjennomført i alle år siden i Tromsø (Fig. 8.16).

Disse studiene skulle senere vise seg å være av stor betydning for radiokommunikasjon ved høye breddegrader. Harang og Stoffregen (Willy Stoffregen 1909–1017) forbedret ionosonden sammen med den tekniske stab på Nordlysobservatoriet, til å



Figur 8.16: Figuren viser hvordan høyden av det reflekterende laget (F<sub>2</sub>) i ionosfæren har avtatt mellom 1950 og 1980 i Tromsø. «Himmelen faller ned!» (Hall and Brekke, 2000)

gjøre nøyaktigere og mer systematiske målinger. Harang skrev i 1937, med bakgrunn i disse studiene, den første doktoravhandlingen som ble publisert basert på observasjoner ved Nordlysobservatoriet (Harang, 1938).

## Nordlysforskningen inn mot romalderen

Mens nordlysforskningen i Norge før Andre Verdenskrig var preget av nasjonale enkeltmannsforetak, førte introduksjonen av Romalderen til at forskerne måtte søke internasjonalt samarbeid. Gjennomføringen av *Det Internasjonale Geofysiske År* (IGY) fra 1957 til 1958, skapte behov for et internasjonalt nettverk av sirkumpolare observatorier. Under disse forberedelsene var Nord-Norge og Svalbard særdeles viktige. Det ble planlagt et utstrakt forskningsprogram der observasjoner fra Nordlysobservatoriet, Spitsbergen og Bjørnøya, samt Jan Mayen inngikk. Aktiviteten innen jordmagnetisme, inkludert studier av mikropulsasjoner, ble utvidet. Nordlys-fotografering og spektrograf målinger, samt nyetablering av en rekke ionosfæremålinger ble intensivert. Flere nye instrumenter ble tatt i bruk under IGY og feltstasjoner ble opprettet i polarområdene.

Siden man hadde fått en god forståelse for de strukturelle egenskapene og de ulike lysemisjonene i nordlyset, gikk man over til mer detaljstudier av emisjonene, slik som levetiden av OIS-tilstanden i oksygenatomet. Her introduserte Omholt (Anders Omholt 1926–2017) og Harang flere metoder (Omholt and Harang, 1959).

Med utgangspunkt i en stor datamengde innsamlet ved *Nordlysobservatoriet*, fikk man større spredning på resultatene. Dette førte til en del diskusjoner om forsinkede eksitasjoner av OIS, slik Vegard argumenterte for i tilknytning til de eksiterte  $N_2^A$ -molekylene (Henriksen, 1974, Brekke and Pettersen, 1972).

Pulserende nordlys var et sentralt emne blant nordlysforskerne ved *Nordlysobservatoriet* på 60- tallet. Her benyttet man flere fotometre til å kartlegge utbredelsen i tid og rom samt variasjoner av pulsasjonsfrekvensene i ulike retninger (Kvifte and Pettersen, 1969). Optiske studier av nordlys ble videreført av Professor Kjell Henriksen (1938–1996) som i 1974, sammen med Professor Alv Egeland ved UiO (Universitetet i Oslo), tok initiativet til studier av dagnordlyset fra Svalbard. *Kjell Henriksen Observatoriet* på Breinosa innenfor Adventdalen, nær Longyearbyen på Svalbard, bærer navnet etter denne pioneren. Scanning-fotometre bidro til forståelsen av bevegelser av nordlys i forhold til *nordysovalen*. Oslo gruppa har bidratt meget aktivt på dette området, spesielt for å studere koplingen mellom solvinden og dagnordlyset i *Cuspen* fra Svalbard (Sandholt et al. 2002).

Røntgenstråler ble tidlig på 1960-tallet observert fra ballonger og raketter. Man mente at dette var bremsestråling fra raske elektroner. Siden røntgenstrålene er avhengige av energien på elektronene som kommer inn i atmosfæren, mens dannelsen av lyset er nesten uavhengig av denne energien, er forholdet mellom røntgenstrålene og nordlyset en funksjon av energispektret av de innkommende elektronene (Omholt, 1971). Idet røntgenstrålene kan observeres om natta så vel som om dagen, kunne man danne seg et videre globalt bilde av innstrømningen av energetiske partikler, og forbindelsen mellom Røntgenstråler og nordlys ble et viktig tema for nordlysforskerne. Det var særlig gruppa ved UiB (*Universitetet i Bergen*) med Harald Trefall (1925–2008) i spissen som ledet an i dette og etablerte etter hvert en ganske stor ballongaktivitet til formålet.

Gruppa ved UiB kom tidlig med i koordinerte ballong- og satellittobservasjoner av røntgenstråler. Samtidige observasjoner fra den geostasjonære satellitten GEOS 2 og ballong-observasjoner av røntgenstråler observert fra ballonger over Nord Skandinavia, demonstrerte en sammenheng mellom innstrømningen av energetiske partikler ved den geostasjonære avstand fra jorda og røntgenstrålene som ble observert fra ballonger under nordlysutbrudd (Ullaland et al., 1993).

Interessen for radiomålinger i ELF og VLF-området, som var meget sjenert av radio- og elektrisk- støy fra bebodde områder, ble intensivert. Her fant man i 1959 et

passende sted inne i Lavangsdalen, langt fra (mer enn 5 km) nærmeste kraftledning, og skjermet for støyplagene. Sammen med FFI (*Forsvarets Forsknings Institutt*) bygget Nordlysobservatoriet en feltstasjon som trakk jevnlig besøk fra både nasjonale og utenlandske forskere. Professor Eivind Thrane fra FFI samarbeidet med amanuensis Arne Haug og professor Olav Holt med ulike radiomålinger, og særlig partielle refleksjoner av radiobølger rundt 3 MHz fra D-laget. Da det imidlertid ble klart at det store internasjonale radaranlegget EISCAT (*European Incoherent Scatter Radar Facility*), som var under planlegging, ville få sin hovedstasjon på Ramfjordmoen, flyttet UiT (*Universitet i Tromsø*) aktiviteten fra Lavangsdalen til Ramfjordmoen. Her ble radaranlegget PRE (*Partielle Refleksjoners Eksperiment*) åpnet i 1974 (Holt, 1980).

## Opprettelsen av Andøya Rakettskytefelt

Raketteksperimentene ga muligheter for helt ny informasjon om trykk, temperatur og sammensetning i de høyere luftlag, slik Vegard bare kunne drømme om. Nordlysforskerne, med Leiv Harang i spissen, var i begynnelsen av 1960-årene klare til å utvide aktiviteten med rakettk eksperimenter. Direktør Finn Lied (1916–2014) ved FFI var en viktig og dyktig strateg i denne sammenheng. I oktober 1960 la Romforskningsutvalget, oppnevnt av NTN (Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd), med Professor Svein Rosseland (1894–1985) som leder, fram en rapport som konkluderte med:

—*At det var en konsekvens av den tekniske og vitenskapelige utvikling at raketter og satellitter ble tatt i bruk for forskningsformål.*

—*At forholdene lå til rette for å etablere et skytefelt i Nord-Norge, og at man måtte forutse at et slikt skytefelt, om det ble etablert, ville trekke forskere og virksomhet fra andre land til Norge.* (Historien om Andøya Rakettskytefelt, 2000).

Utvalget identifiserte følgende forskningsgrupper som sentrale i den foreslåtte virksomheten: Ionosfæregruppa ved FFI på Kjeller og gruppa for Norsk Institutt for Kosmisk geofysikkfysikk (NIKF) og astrofysikk ved UiO, Gruppa for kosmisk stråling ved UiB samt Ås Landbrukshøyskole og gruppa ved Nordlysobservatoriet i Tromsø.

Leder for ionosfæregruppa ved FFI, Bjørn Landmark (1927–2013), spilte en viktig rolle ved etableringen av Andøya Rakettskytefelt (ARS) i 1962 sammen med Professor Anders Omholt, leder av NIKF ved UiO samt leder av gruppa for kosmisk stråling ved



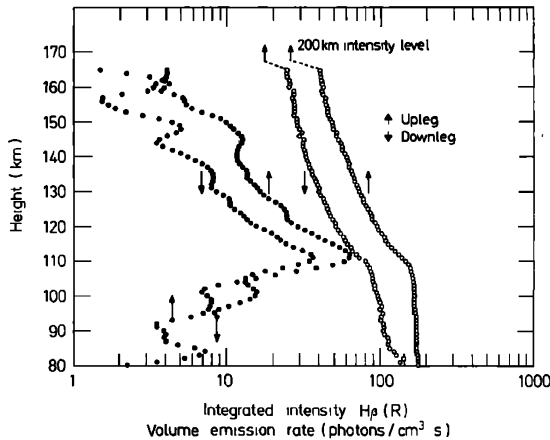
UiB, Professor Bjørn Trumpy (1900–1974). Gruppen ved Nordlysobservatoriet bidro med samtidige optiske observasjoner og magnetiske registreringer fra Tromsø til stor nytte for å vurdere forholdene i ionosfæren i forkant av rakettskuddene, samtidig som de også ga viktig informasjon for tolkning av observasjonene fra raketinstrumentene under selve raketfflukten (Historien om Andøya Rakettskytefelt, 2000).

Den første raketten som ble skutt opp fra ARS var konstruert for å måle tettheter og kollisjonsfrekvenser som funksjon av høyden i den polar atmosfæren. FFI benyttet et bølgeforplantningseksperiment hvor signalene ble sent opp fra bakken og mottatt i raketten. Dette var resultater som bidro til en bedre forståelse for de kjemiske prosessene i den polare ionosfæren (Landmark and Måseide, 2000). Noen forsøk på å måle elektriske felt i nordlyshøyder ble også gjennomført (Maynard and Egeland, 2000). Polar 3 raketten som ble skutt opp fra ARS i 1974, målte energispektret av elektronene forbundet med et nordlys. Disse dataene kunne brukes til å beregne den elektriske ledningsevnen i ionosfæren samt de elektriske strømmene som viste seg å ikke følge nordlysbuen slik Birkeland hadde forutsatt (Evans, 2000).

NIKF ved UiO gjennomførte raketeksperimenter med mange fotometre som registrerte høydeprofiler av elektron tettheter og volumemisjonsratene for ulike nordlysemisjoner. Gruppen ved UiB studerte protonnordlys og ved å observere høydeprofiler av lysemisjonene av  $H\beta$  (Fig. 8.17) (Søraas, 2000). Etter hvert utviklet gruppa i Bergen egne røntgenspektrometre for studier av røntgenstråler både i raketter og satellitter (Stadsnes et al. 2000). Røntgen spektrometre ombord i raketter ga gode bilder av fordelingen av de energetiske elektronene. Under rakettforsøket Polward Leap fra Andøya observerte man klare sammenfallende trekk i nordlysemisjoner og røntgenstråling.

Bernt N. Mæhlum (1929–1999) ved FFI gjorde en pioner innsats på høyt internasjonalt nivå. Han gjennomførte eksperimenter med mor-datter raketter fra Andøya, hvor elektronstråler ble skutt ut av mora og mottatt av dattera. Eksperimentene ga viktige bidrag til forståelsen av hvordan elektronstrålene forplanter seg i et naturlig plasma. Mæhlum hadde også eksperimenter på SPACELAB 1 som ble fløyet med romfergen Columbia i 1983.

Etter hvert kom nordlysrakettene noe i bakgrunn for aktiviteten på ARS. Professor Eivind V. Thrane ved FFI, ledet flere kampanjer hvor man ved hjelp av raketprober studerte turbulens og bølger i Mesosfæren. I løpe av kampanjene som strakte seg over et par dekader, ble det skutt ut et hundre talls raketter og sluppet flere hundre

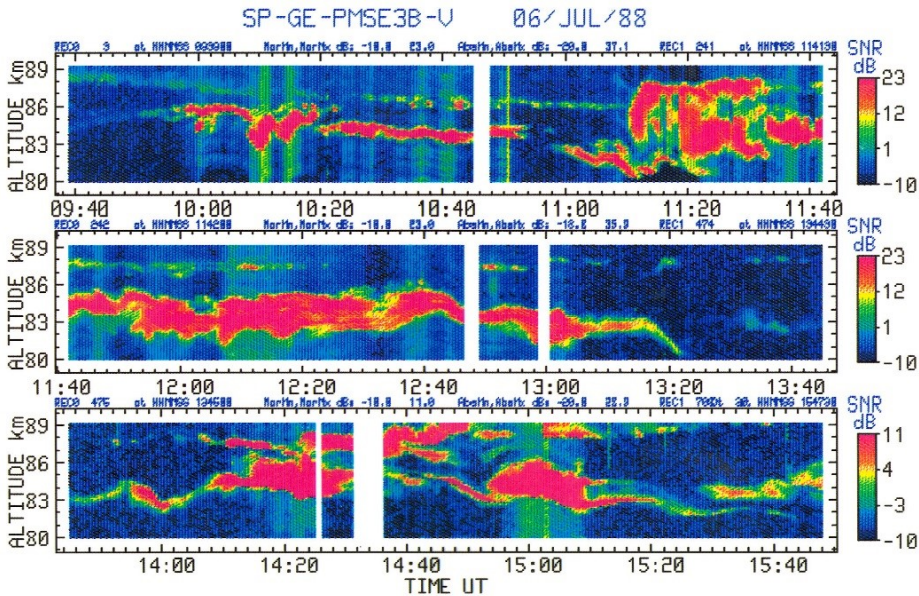


Figur 8.17: Integrrert intensitet og volum emisjonsrater av  $H\beta$  fra raketteksperimenter på Andøya (Søraas et. al. , 1974; Søraas , 2000)

ballonger til sammen fra ARS og ESRANGE i Kiruna. Det ble konstatert at småskala strukturer som turbulens, lysende nattskyer (NLC) og *Polar Mesospheric Summer Echoes* (PMSE) var begrenset til et tynt høydeområde i Mesosfæren (Blix, 2000).

Fysikerne ved Nordlysobservatoriet kom sent med i rakettaktiviteten, men etter hvert som man observerte uventede PMSE ved hjelp av EISCAT, utviklet man egne støv-prober (DUSTY-prober) som de senere årene er blitt skutt opp med flere raketter for å studere støv i Mesosfæren. Her målte man for første gang støv og elektroner i et PMSE- lag (Fig. 8.18) i samme volum med raketter og EISCAT-radaren (Havnes et al. 2001). I dette miljøet har man også utviklet en teori for en spesiell overshoot effekt i elektron temperaturen under Heating eksperimenter i Mesosfæren som har skapt mye internasjonal oppmerksomhet (Havnes, 2004).

Midt på 1960-årene åpnet de første satellittene for nye forskningsmuligheter innen den polare atmosfæren. De første satellittsignalene fra den kanadiske Aluette-satellitten ble tatt ned i Tromsø i 1966. NIKF- gruppa ved UiO deltok med egne fotometre til optiske studier av nordlys fra de to ESRO (European Space Research Organization) -satellittene som ble skutt opp i henholdsvis 1968 og 1969 til tross for at Norge ikke var medlem av ESRO. Resultatene fra disse fotometrene fikk mye publisitet. NTNF startet i 1965 oppbyggingen av satellitt telemetristasjonene i Tromsø og Ny-Ålesund. Tromsø Telemetristasjon var operativ fra 17. mai 1968 og har siden utviklet seg til å bli internasjonalt ledende på telemetrering av polarbane- satellitter. Amanuensis Ove Bratteng (1938–1991) bidro til å styrke fagkunnskapen i signalbe-



Figur 8.18: PMSE (Polar Mesospheric Summer Echoes) oppstod som en stor overraskelse i EISCAT – observasjonene på slutten av 1980-tallet.

handling og billedprosessering i miljøet, en kompetanse som har vært fundamental for utviklingen av det sterke romforskermiljøet i Tromsø.

Nordlysobservatoriet, som hadde hatt overvintringsstasjon på Isfjord-Radio vinteren 1965–66, valgte å flytte aktiviteten på Svalbard til Ny-Ålesund sommeren 1966, et initiativ som har inspirert mange internasjonale forskningsinstitusjoner til å etablere seg der siden. Grappa i romfysikk ved UiO etablerte sammen med ARS et rakett-skytefelt for studier av nordlyset i 1997. Den første raketten herfra var et samarbeid med japanske forskere. Grappa ved UiO leder et rakettprogram (ICI) fra Ny-Ålesund hvor man vil undersøke hvilke mekanismer som skaper instabiliteter og turbulens i forbindelse med nordlys. Medlemmer av grappa ved UiB oppnådde internasjonal oppmerksomhet på fronten av Nature i juli 2009 (Laundal and Østgaard, 2009), da de kunne vise at nordlys og sørlys ikke alltid er symmetriske, men at de responderer forskjellig med hensyn til det inter-planetariske magnetfeltet (Fig. 8.19). I 2013 oppnådde denne grappa en særbevilgning fra Norges forskningsråd og etablerte Birkeland Centre of Space Science (BCSS).



Figur 8.19: Forsiden av Nature i juli 2009 som viser resultater fra studier av konjugerte polarlys ved gruppa i Bergen.

## Nordlysforskningen inn i et nytt årtusen

I 1975 ble EISCAT (European Incoherent Scatter Radar Association) formelt etablert ved at Norge, Sverige, Finland, Tyskland, Frankrike og England gikk sammen om å danne en stiftelse for å bygge og drive radaranlegget for nordlysforskning i det nordlige Skandinavia og Finland. Man bestemte seg for å bygge to radarstasjoner på henholdsvis 224 og 933 MHz for å kunne dekke så stort høydeområdet i ionosfæren som mulig. Den tekniske og vitenskapelige staben ved Nordlysobservatoriet ble sterkt involvert i oppbyggingen av anlegget og bidro med planlegging og konstruksjon av kontroller så vel som korrelator til hele anlegget. De første eksperimentene ble gjennomført i august 1981 og siden har studier av de dynamiske forholdene i den øvre polare atmosfæren under nordlys vært en viktig del av forskningsaktiviteten. I 1994 besluttet EISCAT-organisasjonen å etablere en ny inkoherent spredningsradar på Svalbard. Denne ble innviet på Gruve-7 fjellet innerst i Adventdalen i 1996 med Japan som nytt medlemsland. Siden har også Kina kommet til.

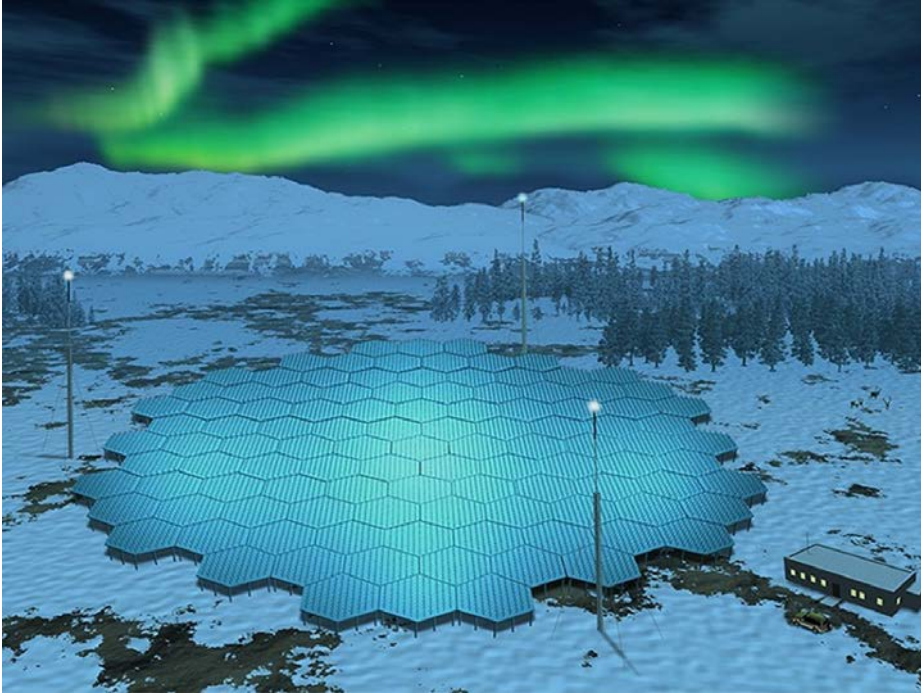
I tillegg til de tradisjonelle instrumentene som nordlysforskerne har benyttet og videreutviklet gjennom flere tiår, representerer EISCAT anleggene et kjerneinstrument for den moderne nordlysforskningen. Ved hjelp av en inkoherent radar kan

man observere flere fysikk-parametere i ionosfæren enn med noe annet instrument som er tilgjengelig fra bakken. Dette er størrelser som elektriske felt, temperaturer, elektron- og ione-tettheter og vinder. Kunnskap om disse parameterne har stor betydning for forståelsen av de fysikalske prosessene som finner sted i den øvre atmosfæren under nordlys. Fundamental plasmafysikk og spesielt turbulens i ioniserte gasser, er en viktig del av den moderne nordlysforskningen. Siden plasma er en tilstand som mer enn 99% av universet består av, gir kunnskaper man henter ut av nordlysforskningen innsikt i den universelle plasmafysikken. Nordlyssonen er derfor det nærmeste naturlige laboratoriet for studier av plasmafysikk.

Ved hjelp av EISCAT har man kunnet videreføre studier av magnetiske fluktuasjoner, slik Harang i sin tid initierte. Her har man også kunnet måle den elektriske strømmen som befinner seg i den øvre delen av atmosfæren, ionosfæren, og bevise at det er de samme strømmene som gir de magnetiske utslagene under nordlys som Birkeland hevdet. Dessuten har man kartlagt i mer detalj hvordan denne strømmen er bygd opp av elektriske felt, nøytrale vinder og ledningsevner i den øvre atmosfæren (Brekke et al., 1974).

Nøytrale vinder i ionosfæren er for første gang kartlagt over lengre tidsrom og under ulike forhold ved hjelp av incoherent spredningsradar (Brekke et al., 1994). Radaranleggene har også vert benyttet til å skaffe ny kunnskap om den kaldeste delen av atmosfæren, Mesosfæren, mellom 80 og 90 km over bakken. Her har man ved hjelp av samtidige rakettmålinger fra rakettskytefeltet på Andenes påvist eksistensen av ladete ispartikler, ispartikler som har frosset til ladete støvpartikler slik Vegard en gang hevdet. Dette studiet har også relevans for forståelsen av klimatiske endringer i den øvre delen av atmosfæren (Havnes, 2004).

Nordlysforskermiljøet i Norge har maktet å opprettholde en god tradisjon med høy internasjonal kompetanse. Man har utviklet verdens mest aktive rakettskytefelt for nordlysforskning og bidratt til utviklingen av moderne måleutstyr for raketter og satellitter så vel som observasjoner fra bakken. Miljøet har deltatt aktivt i oppbyggingen av noen av verdens mest moderne radarer for forskningsformål og tar nå aktivt del i planleggingen av EISCAT\_3D, som vil representere verdens mest avanserte radar for utforskning av ionosfæren og den øvre atmosfæren (Fig. 8.20). Den vil representere et kvantesprang i rom – og tidsopløsning som åpner for detaljerte studier av plasmaet i og omkring nordlysformene. Ved hjelp av EISCAT samt raket- og optiske observasjoner på Svalbard har særlig gruppa ved UiO bidratt sterkt til forståelsen av



Figur 8.20: Senderanlegget til det planlagte EISCAT\_3D slik vi håper det vil stå ferdig installert i Skibotn i 2020. Figur: NIPR

koplingen mellom solvinden og magnetosfæren i Cusp området (Moen et al. 2012).

## Oppsummering

Av de tre norsk nordlys pionerene; Birkeland, Størmer og Vegard var Birkeland den geniale, men hans ideer ble nærmest fortiet i den samtidige internasjonale fysikk-litteraturen. Birkeland gjorde det ikke så lett for sine kollegaer i samtiden å bli kjent med sine egne arbeider, selv om de var publisert både på fransk og engelsk. Sant nok ble hans innledende teoretiske arbeid om nordlys publisert i Archives des Sciences Physique et Naturelle, og rapporten fra hans første ekspedisjon til Halde ble trykket av Videnskabselskabet i Christiania mens hans hovedverk ble utgitt av Aschehoug

forlag i et noe krevende format. Først 50 år etter Birkelands død kom hans arbeider til heder og verdighet i den moderne romfysikken.

Størmers trianguleringer som plasserte nordlysene i sitt rette høydeområde, ble på mange måter avgjørende for den endelige kunnskap om nordlysets plass i atmosfæren. Hans baneberegninger fikk stor betydning for forståelsen av strålingsbeltene og ringstrømmen, men ga også en dypere innsikt i egenskapene ved de kosmiske stråler.

Vegard bidrog i høyeste grad til den internasjonale fagdiskusjonen og benyttet sine spektral- studier av nordlyset til å utvikle kunnskapen om sammensetningen og de fysiske forhold i den øvre atmosfære, en diskusjon som pågår den dag i dag. De var alle tre typiske representanter for det nasjonale vitenskapelige miljø i sin tid, enkeltmannsforetak med lite samarbeid med sine kollegaer.

I motsetning til Birkeland og Størmer, som i det store og hele publiserte sine arbeider som eneforfattere, til tross for at mange bidro til arbeidene, delte gjerne Vegard forfatterskapet med andre. Det er ikke tvil om at Vegard var den som hadde den beste forståelsen av den moderne atomfysikken og kunne benytte den i sine studier av først og fremst det optiske nordlyset, men så var jo Birkeland neste 40 år da kvantefysikken kom inn for fullt og Størmer var mer matematiker enn fysiker.

Det er ingen tvil om at nordlysforskermiljøet i Norge i dag har mye å takke disse pionerne for. De åpnet dørene for de senere generasjoner til internasjonale nettverk som har vært banebrytende i utforskningen av det nære verdensrom og forståelsen av vekselvirkningen mellom solvindplasmaet og den øvre polare atmosfæren. En vekselvirkning som etter hvert har fått stor betydning for vår virksomhet i det nære verdensrom spesielt hva gjelder satellitt virksomhet og radiokommunikasjon.

## Referanser

Allen, J. van (1983). *Origins of Magnetospheric Physics*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

Angot, A. (1897). *The Aurora Borealis*. New York D. Appleton And Company, pp.104-119.

Axford, W.I. and C. O. Hines (1961). *A unified Theory of High Latitude Geophysical Phenomena and Geomagnetic Storms*. Can. J. Phys. 39 (10), 1433.

- Babcock, H.D. (1923). *A Study of the green Auroral Line by the Interference Method*. AP. J. 57; 209–215.
- Birkeland, K (1896). *Sur les Rayons Cathodiques sous l'Action de Forces Magnétique Intenses*. Archives des Sciences Physique et Naturelle, T. 1, p.497–512.
- Birkeland, K (1899). *Recherches sur les taches du Soleil et leur origine*. Videnskabselskabets Skrifter. Mathem. naturv. Klasse. No. 1. Ss. 1–173.
- Birkeland, K. (1902) *Expédition norvégienne 1899–1900 pour l'étude des aurores boréales. Résultats des recherches magnétiques*. Skrifter Videnskabselskabet i Christiania 1901, I, Mat.- Nat. Klasse. Christiania, pp. 1—81.
- Birkeland, K. (1903). *Hvorfor utvikler Nordlysbuer seg sædvanligvis i Retning av magnetisk Øst-Vest?* Foredrag for Videnskabselskabet i Christiania på møte i Mat. Nat. Klasse, 23.1.1903
- Birkeland, K. (1907). *Aarsagen til de magnetiske Forstyrrelser og om Jordmagnetismens Oprindelse*. Foredrag for Videnskabselskabet i Christiania på møte i Mat. Nat. Klasse, 25.1.1907
- Birkeland, K. (1908). *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903*. Vol. I, Aschehoug.
- Birkeland, K. (1913). *The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902-1903*. Vol. II, Aschehoug.
- Birkeland, K. (1916). *Are the solar Corpuscule rays that penetrate into the Earths atmosphere negative or positive?* Christiania Videnskabselskab Skrifter Mat.-Naturv. 1. Bind.
- Blix, T.A. (2000). *Noctilucent Clouds and Polar Mesosphere Summer Echoes*. Historie om Andøya Rakettskytefelt 4 3 2 1 fire. Andøya Rakettskytefelt, pp. 159–166.
- Brekke, A. and H. Petteresen (1972). *A possible Method for Estimating any Indirect Process in the Production of O(<sup>1</sup>S) Atoms in Aurora*. Planet. Space. Sci. 20, 1569–1576.
- Brekke, A., J.R. Doupnik and P.M. Banks. (1974). *Incoherent Scatter Measurements of E region Conductivities and Currents*. J. Geophys. Res. 79(25), 3773–379.



- Brekke, A. (2012). *Sigurd Einbu og Det Norske Institutt for Kosmisk Fysikk*. I «En himmelrommets fyrvokter, Sigurd Einbu» red. G. Bentsdal, Snøhetta forlag A. S. s.79–97.
- Brekke, A., S. Nozawa, and T. Sparr. (1994). *Studies of the E-region neutral wind in the quiet auroral ionosphere*. J. Geophys . Res., 99, NoA5, 8801–8825.
- Devik, O. (1971). *Blant fiskere, forskere og andre folk*. H. Aschehougs & Co. (W. Nygaard) Oslo.
- Egeland, A. and W. J. Burke (2005). *Kristian Birkeland. The First Space Scientist*. Springer, p.80.
- Evans, D. (2000). *The aurora and electrical currents*. Historie om Andøya Rakett-skytefelt 4 3 2 i fire. Andøya Raketttskytefelt, pp. 166–174.
- Gaimard, P. (1845) *Voyages en Scandinavie en Laponie au Spitzberg aux Ferøe pendant les années 1838, 1839 et 1840 sur la corvette La Recherche, commandée par M. Fabvre, Lieutenant de Vaisseau*. Publés par ordre du Roi sous la direction de Paul Gaimard, I-XVII, Paris ca. 1844–1856.
- Hall, C. M. and Brekke, A. (2000). *The shrinking atmosphere* Polar Research 19(2), 275–276, doi: 10.3402/polar.v19i2.6553 .
- Harang, L. (1938). *Ionisation der höchsten Atmosphärenschichten während der Norlichter und erdmagnetischen Störungen* Geofys. Publ., Oslo Vol. II, No. 17.
- Harang, Leiv (1946). *The mean field of disturbance of polar geomagnetic storms*, Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 51(3), 353–380 doi: 10.1029/TE051i003p00353
- Harang, L. (1951). *The Aurorae*. Wiley, New York, p.12.
- Havnes, O.; Brattli, A.; Aslaksen, Torsten; Singer, Werner; Latteck, R.; Blix, T.; Thraane, E.; Trøim, J. (2001). *First common volume observations of dust layered plasma structures and polar mesospheric summer echoes by rockets and radars*. Geophys. Res. Letters (28). ISSN 0094-8276. s 1419–1422.
- Havnes, O. (2004). *Investigations of the mesospheric PMSE conditions by use of the new overshoot effect*. Physica Scripta, Volum T107. ISSN 0031-8949. s 70–78.

## ROMFYSIKK

- Henriksen, K. (1974). *Studies of the auroral green line*. Dr. Philos avhandling ved Universitetet i Tromsø.
- Henriksen, K. and A. Egeland (1988). *The interpretation of the auroral green line*. EOS, 69, No. 25, pp. 721–724.
- Heppner, J. (1972). *The Harang discontinuity in auroral belt ionospheric currents*. Geofys. Publ., vol. 29, No. 7, pp. 105 – 121.
- Andøya Rakettskytefelt AS (2000). Historien om Andøya Rakettskytefelt 4 3 2 i fire. Andøya Rakettskytefelt AS, p.17.
- Holt, O. (1980) *Nordlysobservatoriet gjennom 50 år*. Ottar nr. 121–122.
- Krogness, O.A. (1917). *Øversigt over Haldde-observatoriets arbeider*. Christiania Videnskabselskab Skrifter Mat. Nat. Klasse 1917.1
- Krogness, O.A. (1982). Kopibøker, *Observatoriet på Haldde og Nordlysobservatoriet i Tromsø*, Statsarkivet Tromsø.
- Kvifte, G.J. and H. Pettersen (1969). Planet. Space. Sci. 17, 1599.
- Landmark, B. and K. Måseide (2000) *Observation of electron density, collision frequency and auroral light emissions- Results from early activity at the Andøya Rocket Range*. Historie om Andøya Rakettskytefelt 4 3 2 i fire. Andøya Rakettskytefelt, pp. 116–119.
- Larsen, R. og S. Berger (2000). *Nordlysobservatoriet – historier og erindringer*. Universitetet i Tromsø.
- Laundal, K.M. and N. Østgaard (2009). *Asymmetric auroral intensities in the Earth's Northern and Southern hemisphere*. Nature, 460, 491–493, 23 July, 2009.
- Maynard, N. and A. Egeland (2000). *Electric Fields*. Historie om Andøya Rakettskytefelt 4 3 2 i fire. Andøya Rakettskytefelt AS, pp. 181–189.
- McLennan, J. and G. Shrum. *The Origin of the Auroral Green Line 5577 Å, and other Spectra associated with the Aurora Borealis*. Proc. Roy. Soc. 108, 501–512.
- McLennan, J., F.R.S. McLeod and W.C. McQuarrie (1927). *An Investigation into the Nature and Occurrence of the Auroral Green Line 5577 Å*. Proc. Roy. Soc. A. Vol. 114, pp. 1–22.

- Moen, J., H.C. Carlson, Y. Rinne and Å. Skjæveland (2012). *Multi-scale features of solar terrestrial coupling in the cusp ionosphere*. J. Atmos. And Solar-Terrestrial Physics, 87–88, pp. 11-19.
- Omholt, A. and L. Harang (1955). *Measurements of the mean lifetime of the metastable 1S-state of oxygen atom in the upper atmosphere during auroral displays*. J. Atmos. Terr. Phys. 7, 247–253.
- Omholt, A. (1959). *Studies of the excitation of aurora borealis II. The forbidden oxygen lines*. Geofy. Publ. Vol. 21, No. 1.
- Omholt, A. (1971). *The Optical Aurora*. Springer Verlag, p. 189–193.
- Richmond, A. D. (1987). *The ionosphere*, in «The Solar Wind and Earth», edited by S. I. Akasofu and Y. Kamide, pp. 124 – 140, Terra Sci., Tokyo
- Rive, A. de la (1849). *On the Diurnal Variation of the Magnetic Needle, and the Aurora Borealis. Extract of a Letter to M. Arago*. Journal of the Franklin Institute, 1849, Vol. 17 (3s) pp.40-46. Annales de Chemie et de Physique, 3me serie, tom. XXV., p.319.
- Rive, A. de la, (1872). Ann. De Chim. Et de Phys., juillet 1872, tome XXVI.
- Sandholt, P.E., H.C. Carlson and A. Egeland (2002) *Dayside and Polar Cap Aurora*. Kluwer Academic, Publishers, Netherlands.
- Schuster, A. (1911). *On the origin of magnetic storms*. Proc. Roy. Soc. London (A),85, 4450.
- Stadsnes, J., K. Aarsnes and J. Bjordal (2000). *Measurements of auroral X-rays. Historie om Andøya Raketskytefelt 4 3 2 1 fire*. Andøya Raketskytefelt, pp. 218–224.
- Stursberg, P., Gordon Shrum (1986) *An autobiographi with Peter Stursburg edited by Clive Cocking*. University Press Vancouver, pp. 38–48.
- Størmer, C. (1904). Foredrag 22. 01, 1904. Forhandlinger i Videnskabs-selskabet i Christiania Aar 1904. Møte Matematisk-naturvitenskabelig Klasse 22<sup>de</sup> Januar 1904.

## ROMFYSIKK

- Størmer, C. (1911). *Bericht über eine Expedition nach Bossekop zwecks photographischer Aufnahmen und Höhemessungen von Nordlichtern*. Vid. Selsk. Skr. Math. Nat. Kl. No. 17.
- Størmer, C. (1910). *Løsning af problemet Nordlysfotografering*. Foredrag for Videnskabselskabet i Christiania på møte i Mat. Nat. Klasse, 29.4. 1910
- Størmer, C. (1914). *En del resultater av nordlysekspeditioner til Korsnes og Bossekop vaaren 1913*. Foredrag i Vid. Selsk. i Kristiania, Mat. Nat. Kl. 9.10.1914.
- Størmer, C. (1916). *Oversikt over resultatene av nordlysekspeditionene til Finnmarken 1913*. Presentasjon ved Videnskabselskabet i Kristiania Mat. Nat. Klasse. 14.4. Nov. 1916
- Størmer, C. (1917). *On auroral draperies and on the sign of the Aurora Corpucules. A short reply to Professor Birkeland*. Videnskabselkab Skrifter Mat.-Naturv. 1917. No. 3.
- Størmer, C. (1927). *Résultats des mesures photogrammétriques des aurores boréales observées dans la Norvège Meredionale de 1911 a 1922*. Geofys. Publ. IV, No. 7.
- Størmer, C. (1927). *Nyere Norske Nordlysundersøkelser*. Nordisk Tidsskrift Årg. 3, 1927, ss. 269–282.
- Størmer, C. (1937). *Polarlys*. Universitetets Radioforedrag. Norsk Rikskringkasting, Oslo, 1937, s.24. Fig.13.
- Størmer, C. (1955). *The Polar Aurora*. Oxford at the Clarendon Press.
- Søraas, F. (2000). *Auroral protons, ENA and Doppler shifted hydrogen lines*. Historie om Andøya Rakettskytefelt 4 3 2 i fire. Andøya Rakettskytefelt, pp. 202–217.
- Søraas, F. and Lindalen, H. R. and Måseide, K. and Egeland, A. and Sten, T. A. and Evans, D. S. (1974). *Proton precipitation and the H $\beta$  emission in a postbreakup auroral glow*. Journal of Geophysical Research, 79(13), 1851–1859, doi: 10.1029/JA079i013p01851
- Torstveit, J. (2006). *Professor Lars Vægard. Forskaren, institusjonsbyggjaren, organisasjonsmannen og rettleiaren*. Aust-Agder Arv. Årbok 2005–2006, 58. Aust-Agder kulturhistoriske senter.

- Torstveit, J. (2008). *Mennesket LarsVegard* i «Lars Vegard, forskeren og lærere». Redaktører A. Egeland, Bjørn Pedersen og Johs. G. Torstveit. Bokbyen ved Skagerak s.50.
- Tromholt, S. (1885). *Under Nordlysets Straaler. Skildringer fra lappernes Land*. Gyl-dendalske Boghandels Forlag. Kjøbenhavn, s. 270.
- Ullaland, S., G. Kremser, P. Tanskanen, A. Korth, A. Roux, K. Torkar, L.P. Block and I.B. Iversen (1993). *On the Development of a Magnetospheric Substrom Influenced by a Storm Sudden Commencement: Ground Balloons and Satellite Observations*. J. Geophys. Res., 98, 15381.
- Vegard, L. (1911a). *The Radiation producing Aurora Borealis*. Nature, No. 2163, Vol. 86, a., pp. 212-213.
- Vegard, L. (1911b) *On the  $\alpha$ -ray Theory of Aurora Borealis*. Nature, No. 2181, Vol. 87, 1911, b., pp. 213–214.
- Vegard, L. (1916a). *Resultater av nordlysobservationer fra Hallde-observatoriet*. Presentasjon ved Videnskabselskabet i Kristiania Mat. Nat. Klasse. 17. Nov. 1916.
- Vegard, V. (1916b). *Nordlichtuntersuchungen Bericht über eine Expedition nach Finnmarken 1912–1913*. Kristiania Vidensk. Skrifter i Mat. Naturv. Klasse. 1916, No. 13.
- Vegard, L. (1923a). *The determination of wave length of the green line of the auroral spectrum*. Geofys. Publ. V.2. No. 5. 1923a
- Vegard, L. (1923b). *The Auroral Spectrum and the upper Strata of the atmosphere* Preliminary Communication. Chris. Vid. Selsk. Mat.-Naturv. Klasse, No.8. 1923.
- Vegard, L. (1923c). *Nordlysets spektrum og atmosfærens høieste lag*. Foredrag 3. Mai i Vid. Selsk. I Kristiania, Mat. Nat. Kl.1923.
- Vegard, L. (1923d). *Auroral Spectra at different altitudes and the origin of the green auroral line. Second Communcation*. Chris. Vidensk. Selsk. KMat.-Nat. Klasse, No. 9. 1923
- Vegard,L. (1923e). *The constitution of the upper strata of the Atmosphere*. Phil. Mag. S.&. Vol. 46. No. 274. Oct. 1923.

## ROMFYSIKK

- Vegard, L. (1924). *The Auroral Spectrum and the Upper Atmosphere*. Nature, No. 2846, Vol. 113, May 1924.
- Vegard, L. and O.A.Krogness (1920). *The position in space of the aurora polaris observations made at the Halldde-Observatorium 1913–1914* Geofys. Publ. Vol. 1, No.1, p. 7, Kristiania.
- Vegard, L. (1933). *Investigation of the auroral spectrum based on observations from the Auroral Observatory, Tromsø*. Geofys. Publ. V10, No. 4, 1933, pp.5–63.
- Vegard, L. (1939). *Hydrogen showers in the Auroral Region*. Nature, No. 3661. Dec. 30, 1939. p. 1089.
- Vegard, L. (1940). *Continued Investigations on the auroral Luminecence and the Upper Atmosphere*. Geofys. Publ. Vol. 12, No. 4.
- Vegard, L. (1955). *Nordlysobservatoriet i Tromsø og de dermed tilknyttede institusjoners tilblivelse og virksomhet*. Tale ved 25-års jubileet den 30. Juli 1955.
- Vegard, L. and E. Tønsberg (1935). *Continued Investigations on the Temperature of the upper Atmosphere determined by means of Bands in the Auroral Spectrum*. Geofys. Publ. V. 11, No. 2.
- Vegard, L. and E. Tønsberg (1952). *Results from Auroral Spectrograms obtained at Tromsø during the Winter 1950/51*. Geofys. Publ. V.18, No. 8.
- Ångström, A.J. (1868). *Recherche sur le spectres Solaire*. 40 Uppsala.
- Wegener, A. (1910). *Zur Schichtung der Atmosphäre*. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre 3 (1910): 33.

# Appendiks A — Norsk Geofysisk Forenings Statutter

## **Vedtekter for Norsk Geofysisk Forening**

*(Etter vedtak 2. september 1918 med endringer vedtatt 25. august 1950, 17. juni 1963, 23. september 1966, 3. september 1981, 19. september 1989 og 8. september 2005)*

### **§1 Formål**

Norsk Geofysisk Forening (NGF) har til formål å fremme forståelse og interesse for geofysikk foruten samarbeidet mellom norske forskere i de geofysiske vitenskaper.

### **§2 Medlemskap**

NGF er åpen for alle med arbeidsfelt innen geofysiske fag. Med geofysiske fag menes fag som favnes under International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). NGFs medlemmer tilbys automatisk medlemskap i European Geosciences Union (EGU).

### **§3 Styre**

Foreningens styre består av tre medlemmer: Leder, nestleder og sekretær/kasserer. Styremedlemmer og en revisor velges for 2 år.

### **§4 Møter**

Foreningen skal ha et årlig møte til referat av utførte arbeider og drøftelser av nye. Årsmøtet fastsetter kontingent og foretar valg. Andre møter og arrangementer organiseres ved behov.

### **§5 Endring av statutter**

Disse statutter kan bare endres ved beslutning på årsmøtet etter forslag som minst en måned tidligere er sendt til foreningens medlemmer. For at et endringsforslag skal bli vedtatt, kreves et flertall på to tredjedeler av de avgitte stemmer. Forhåndsstemmer må være inngitt skriftlig til styret før årsmøtet. Totalt avgitte stemmer må utgjøre minst en tredjedel av medlemstallet.





# Appendiks B — Oversikt over NGFs styremedlemmer

Periode	Leder	Nestleder	Sekretær
1917 – 1920	V. Bjerknes	B. Helland-Hansen	
1921 – 1922	B. Helland-Hansen	Th. Hesselberg	
1923 – 1924	Th. Hesselberg	L. Vegard	
1925 – 1926	L. Vegard	O. A. Krogness	
1927 – 1928	O. A. Krogness	S. Sæland	
1929 – 1930	S. Sæland	C. Størmer	
1931 – 1932	C. Størmer	O. Devik	
1933 – 1934	O. Devik	H. U. Sverdrup	
1935 – 1936	H. U. Sverdrup	H. Solberg	
1937 – 1938	H. Solberg	J. Bjerknes	
1939 – 1940	J. Bjerknes	B. Helland-Hansen	
1941 – 1942	B. Helland-Hansen	W. Werenskiold	
1943 – 1945	W. Werenskiold	B. Trumpy	
1946 – 1947	B. Trumpy	J. E. Fjeldstad	
1948 – 1949	J. E. Fjeldstad	S. Rosseland	
1950 – 1951	S. Rosseland	H. Mosby	
1952 – 1953	H. Mosby	E. Høiland	
1954 – 1955	E. Høiland	L. Harang	
1956 – 1957	C. L. Godske	L. Harang	
1958 – 1959	E. Palm	G. Kvifte	
1960 – 1961	G. Kvifte	A. Eliassen	
1962 – 1963	A. Eliassen	A. Jakhelln	
1964 – 1965	A. Jakhelln	B. Mæhlum/ P.M.Breistein	
1966	A. Omholt	O. Sælen	

OVERSIKT OVER NGFs STYREMEDLEMMER

Periode	Leder	Nestleder	Sekretær
1967	A. Omholt	O. Sælen	B. Mæhlum
1968 – 1969	O. Sælen	T. W. Johannessen	P. M. Breistein
1970 – 1971	T. W. Johannessen	J. Otnes	S. H. H. Larsen
1972 – 1973	J. Otnes	A. Egeland	S. H. H. Larsen
1974 – 1975	A. Egeland	R. Fjørtoft	A. Moene
1976 – 1977	R. Fjørtoft	H. G. Gade	A. Moene
1978 – 1979	H. G. Gade	T. Carstens	R. Kanestrøm
1980 – 1981	T. Carstens	J. Nordø	H. Rye
1982 – 1983	J. Nordø	M. Mork	M. Lystad
1984 – 1985	M. Mork	I. Kanestrøm	H. Svendsen
1986 – 1987	I. Kanestrøm	Y. Gotaas	T. E. Nordeng
1988 – 1989	Y. Gotaas	A. Tollan	T. Iversen
1990 – 1991	A. Tollan	E. Thrane	D. Bjørge
1992 – 1993	E. Thrane	Th. McClimans	E. Sörgård
1994 – 1995	Thomas McClimans	Sigbjørn Grønås	Jan-Gunnar Winther
1996 – 1997	Sigbjørn Grønås	Asgeir Brekke	Nils G. Kvamstø
1998 – 1999	Asgeir Brekke	Peter M. Haugan	Unni P. Løvhaug/ Chris Hall
2000 – 2001	Peter M. Haugan	Tom A. Blix	Unni P. Løvhaug/ Chris Hall
2002 – 2003	Tom A. Blix	Bjørn G. Harsson	Vivianne Jodalen/ Knut Svenes
2004 – 2005	Bjørn G. Harsson	Magne Lystad	Torbjørn Nørbech
2006 – 2007	Magne Lystad	Tore Furevik	Jon Albretsen
2008 – 2009	Tore Furevik	Inger Hanssen-Bauer	June Lunde
2010 – 2011	Inger Hanssen-Bauer	June Lunde	Jan Even Øie Nilsen
2012 – 2013	June Lunde	Jón Egill Kristjánsson	Jan Even Øie Nilsen
2014	Jón Egill Kristjánsson	Stephen Hudson	Jan Even Øie Nilsen
2015	Jón Egill Kristjánsson	Erik Kolstad	Stephen Hudson
2016 – 2017	Birgitte Furevik	Valerie Maupin	Stephen Hudson

# Appendiks C — NGFs medlemmer i 2017

Kjell Aarsnes  
Solfrid Agersten  
Jon Albretsen  
Bo Andersen  
Øivind A. Arntsen  
Kuvvet Atakan  
Knut S. Barthel  
Terje Berntsen  
Karl A. Berteussen  
Gustav Bjørnbæk  
Sandra Blindheim  
Tom Arild Blix  
Asgeir Brekke  
Hilmar Bungum  
Øyvind Byrkjedal  
Jan Aske Børresen  
Ivar Dugstad  
Alv Egeland  
Lars I. Eide  
Grim Eidnes  
Anton Eliassen  
Harald Engedahl  
Svein M. Fikke  
Bård Fjukstad  
Tore Furevik  
Tor Gammelsrød  
Michael Gaussa

Yngvar Gjessing  
Knut Erik Grønскеi  
Nils Haakensen  
Bruce E. Hackett  
Chris M. Hall  
Svein Erik Hamran  
Georg H. Hansen  
Inger Hanssen-Bauer  
Bjørn Geirr Harsson  
Knut Harstveit  
Peter M. Haugan  
Hege Hisdal  
Vidar Hisdal  
Bjørn Åge Hjøllo  
Lars R. Hole  
Olav Holt  
Jan A. Holtet  
Ulf-Peter Hoppe  
Stephen Hudson  
Jo Høkedal  
Knut Arne Iden  
John Ingebrigtsen  
Elisabeth Isaksson  
Trond Iversen  
Alastair D. Jenkins  
Vivianne Jodalen  
Johnny A. Johannessen

NGFs MEDLEMMER I 2017

Ola M. Johannessen	Åsmund Rabbe
Truls Johannessen	Magnar Reistad
Magnar G. Johnsen	Kjell Repp
Ånund Killingtveit	Lars Andreas Roald
Anton Kjelaas	Birgitte Rugaard Furevik
Jørn Kristiansen	Lars Petter Røed
Ole B. Kvamme	Bjørn Røsting
Trond Kvamsdal	Jørgen Saltbones
Nils Gunnar Kvamstø	Thomas V. Schuler
Tormod Kværna	Johannes Schweitzer
Helene R. Langehaug	Harald Schyberg
Gaute Lappegard	Øyvind Seland
Conrad Lindholm	Markvard A. Sellevoll
June Lunde	Fred Sigernes
Magne Lystad	Åsmund Skjæveland
Unni Pia Løvhaug	Lars Henrik Smedsrud
Eirik Malnes	Johan Stadsnes
Susanne Marioara	Karsten Storetvedt
Eivind A. Martinsen	Kjersti Opstad Strand
Valerie Maupin	Svein R. Sundby
Thomas McClimans	Knut R. Svenes
Knut Helge Midtbø	Lena M. Tallaksen
Svein Mykkeltveit	Eivind V. Thrane
Dag Myrhaug	Rune W. Time
Frank Nilsen	Arne Tollan
Irene Brox Nilsen	Svein Tryggestad
Jan Even Øie Nilsen	John Tveit
Jan H. Nilsen	Vigdís Tverberg
Kerim H. Nisancioglu	Peder Tyvand
Øyvind Nordli	Bjørn Ursin
Richard Norland	Kjetil Våge
Vegard Ophaug	Jan-Gunnar Winther
Olav Orheim	Bjørn Wold
Bjørn Ragnvald Pettersen	Gunnar Østrem
Ingjald Pilskog	

# Appendiks D — Takk

Vi takker følgende institusjoner som har bidratt økonomisk til NGFs 100-årsjubileum og jubileumbok:

Bjerknessenteret, Universitetet i Bergen

Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen

Havforskningsinstituttet

Institutt for fysikk og teknologi, UiT Norges Arktiske Universitet

Instutt for Geofag, Universitetet i Oslo

Kjeller Vindteknikk

Meteorologisk Institutt

Nansen Environmental and Remote Sensing Center (NERSC)

Norsk institutt for vannforskning (NIVA)

NORSAR

Norsk Polarinstitutt

Tromsø Geofysiske Observatorium, UiT Norges Arktiske Universitet

Uni Research



