



Morgenavisen skrev i april 1933 at det i løpet av to dager under det internasjonale polaråret ble sendt opp 500 drivballonger og 5 stratosfæreballonger i Bergen. Det var smørfabrikken Bjørgvin og Meteorologisk institutt som sto bak det lokale arrangementet. Foto: George Willoughby, Universitetsbiblioteket i Bergen, Billedsamlingen.

Kapittel 4

Hvordan blir klimaet?

Fra Bjerknes til Bjerknnessenteret

Thorleif Aass Kristiansen
og Magnus Vollset

Bjerknnessenteret for klimaforskning er Nord-Europas største fagmiljø for naturvitenskapelig forskning om drivhuseffekt og menneskeskapte klimaendringer. I dette kapittelet undersøker vi hvilke tradisjoner forskningen bygger på, forbindelsene til Bjerknes-navnet, og hvordan klimaforskning har endret seg over tid. Vi viser hvordan dagens forskning bygger på tradisjoner for studier av hav og atmosfære både i felt, i laboratorier og i form av komplekse datamodeller, men også hvordan den tidlige klimaforskningen havnet i skyggen av «Bergensskolen i meteorologi». Videre presenterer vi prosjektene Bjerknnessenteret sprang ut av, og senterets ulike faser: fra et senter for fremragende forskning og fredspris til forventninger om forskning i mer anvendt retning. Avslutningsvis diskuterer vi betydningen av arv, anseelse og synlighet.

Bjerknessenteret er i dag et samarbeid mellom Universitetet i Bergen (UiB), forskningsselskapet Norce, Havforskningsinstituttet (HI) og Stiftelsen Nansen senter for miljø og fjernmåling. Det er oppkalt etter Vilhelm Bjerknes (1862–1951) og hans sønn Jacob Bjerknes (1897–1975), som begge ga viktige bidrag til utviklingen av meteorologi og værvarsling. Fra 1917 var de sentrale i å etablere slik vitenskap i Bergen.¹ Da et formalisert samarbeid om klimaforskning var under planlegging på slutten av 1990-tallet, var det av flere grunner strategisk å knytte det til Bjerknes-navnet: Navnet kunne virke samlende og inspirerende, det ga vitenskapelig legitimitet, og det ble sett som viktig å ta hevd på Bjerknes-navnet før noen andre gjorde det.

Det er imidlertid ingen direkte linje fra Vilhelm og Jacob Bjerknes til Bjerknessenteret. Både far og sønn flyttet fra Bergen før UiB så dagens lys. Dessuten var de til tider avvisende til klimaforskningen som foregikk i deres samtid. Like fullt er det flere sammenfallende forskningsinteresser i den tidlige geofysikken i Bergen og klimaforskningen som har vokst fram. I dette kapitlet analyseres utviklingen av meteorologi, oseanografi, paleoklimatologi, modellering og annen klimaforskning – fra Bjerknes til Bjerknessenteret. Vi viser hvordan virksomheten ved senteret springer ut av tidligere miljøer i meteorologi og havforskning, om enn på overraskende måter. Hva slags klimaforskning har foregått? Hvordan har hav og atmosfære blitt koblet sammen til ulike tider?

Bjerknessamarbeidet

Under konferansen «Fakta grunnlaget og utfordringene i klimaforskningen», 17. november 1999, arrangert av Norges forskningsråd, ble et flygeblad med et bilde av Vilhelm Bjerknes og tittelen «Nytt klimainitiativ i Bergen: Bjerknes-samarbeidet» lagt ut på alle bordene. Den korte teksten fortalte at klimaet i Norge var i endring på grunn av utslipp av drivhusgasser, og at det manglet kunnskaper om prosessene som drev endringene. Det var nå nødvendig å intensivere forskning på klimaendringer på nordlige breddegrader, noe et

1 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018, Friedman 1989.

tverrfaglig miljø i Bergen satte seg fore. Initiativtakerne var forskere ved UiB, HI og Nansen-senteret, med maringeologen Eystein Jansen som pådriver. Seks dager tidligere hadde direktørene ved de tre institusjonene undertegnet en intensjonsavtale om samarbeid. Målet var Forskningsrådets nyskapning for finansiering til ambisiøse forskningsmiljøer: Senter for fremragende forskning (SFF).² Med lanseringen fikk miljøet presentert målet om et tverrfaglig klimasenter og sikret seg Bjerknes-navnet.

Bjerknessamarbeidet bygget på enkeltforskere og små miljøer som fattet interesse for klimaspørsmål og som de siste årene hadde begynt å se til hverandre. Miljøene var fordelt på flere enheter både innenfor og utenfor universitetet. Paleoklimatologene, anført av professor Jan Mangerud, opprettet i 1983 Nasjonallaboratoriet for geologisk massespektrometri (GMS-laboratoriet, nå FARLAB) ved Geologisk institutt med Eystein Jansen som leder. Dette gjorde det mulig å studere og tallfeste fortidsklima ved hjelp av geologiske målinger. I 1985 ble John Birks fra Cambridge kallet til professor ved Botanisk institutt; han var pioner for kvantitativ pollenanalyse. Denne forskningen gjorde det etter hvert mulig å koble klimamodeller til virkninger i naturen.

Blant meteorologene ved Geofysisk institutt kom klimaforskningen på dagsordenen rundt 1990. Øystein Hov, professor mellom 1989 og 1996, var atmosfærekjemiker og forsket på spredning av partikler i atmosfæren – et viktig felt for å forstå betydningen for klimaet av menneskelig forurensning.³ Sigbjørn Grønås, som fikk professoratet etter Hilding Sundqvist i 1990, delte sin forgjengers interesse for numerisk værvarsling ved hjelp av datamaskiner, men dreide snart forskningen mot klima og ledet tverrfaglige kollokvier der klimaspørsmål ble diskutert.⁴ På slutten av 1990-tallet var Grønås sentral i å etablere et nasjonalt samarbeid for utvikling av klimamodeller.⁵ Blant Geofysisk institutts havforskere var innretningen mot klimaspørsmål enda sterkere. For eksempel drev oseanografer ved instituttet og ved Nansensenteret, blant dem

2 I en presentasjonsfilm i forbindelse med Bjerknessenterets 20års jubileum finnes denne opplysningen (tidsangivelse 57:30), Bjerknessenteret 2020.

3 Før han kom til Bergen, i 1988, hadde Hov deltatt som en av tre norske delegater til FNs klimapanelts aller første møte, se World Meteorological Organization 1988: Annex 1:3.

4 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 317.

5 Regclim 1999: 26.

Helge Drange og Peter Mosby Haugan, forskning om hvordan karbondioksid blir lagret i havet.⁶

Også de to andre partnerne i Bjerknnessamarbeidet var med hovedsakelig i kraft av sin interesse for klimaendringer i havet. Det statlige Havforskningsinstituttet bidro først og fremst gjennom tung forskningsinfrastruktur. Instituttet hadde rederkompetanse og overtok i 2000 driften av universitetets forskningsskip Håkon Mosby.⁷ I tillegg hadde Havforskningsinstituttet lange tidsserier over saltinnhold og temperatur i norske hav – av stor relevans for klimastudier – og et ønske om mer samarbeid med grunnforskningsmiljøer.⁸

Nansen senter for fjernmåling ble etablert i 1986, som en avlegger fra havforskningen ved universitetet. Initiativtaker Ola M. Johannessen, som hadde et stort internasjonalt nettverk, bygget opp et miljø for teoretisk og anvendt forskning basert på fjernmålinger fra for eksempel satellitter, radiosonder, bøyer og forskningsskip. I tråd med 1980-tallets forskningspolitikk for anvendte miljøer ble Nansensenteret etablert som en frittstående forskningsstiftelse. Senteret har like fullt hatt sterke koblinger til universitetet, gjennom bistillinger, rekruttering og uformelt samarbeid mellom enkeltforskere. Senteret har siden opprettet flere avdelinger rundt om i verden: i St. Petersburg, Cochin (India), Beijing, Cape Town og Dhaka (Bangladesh).⁹

At senteret ble oppkalt etter Fridtjof Nansen, viser at stifterne likte inspirerende navn med assosiasjoner til ambisiøse ekspedisjoner. I større grad enn ved for eksempel Geofysisk institutt drev Nansensenteret på 1980- og -90-tallet med store, kollektive prosjekter. Senteret hadde også unge forskere på tidsavgrensede kontrakter og forskergrupper som ikke nødvendigvis forholdt seg til etablerte disiplingrenser. Gjennom årene opparbeidet senteret ekspertise på blant annet teknisk utstyr, målinger og kunnskap om polarområdene. Miljøforskning vokste fram som en utvidelse av virksomheten, og i 1990 ble navnet justert til Stiftelsen Nansen senter for miljø og

6 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 317.

7 Hovland & Ellingsen 2007: 130. Fra 2008 ble Havforskningsinstituttet eier av FF Håkon Mosby. I 2017 ble skipet solgt til private.

8 Fosså 2002: 4, Krohn mfl. 2001: 25.

9 Om Nansensenteret, se Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 293–302, Hovland & Ellingsen 2007: 121–122, 125–127.

fjernmåling. Følgelig ble klimaendringer et naturlig studieobjekt for senterets forskere. For eksempel fikk Johannessen, Einar Bjørge og Martin W. Miles mye oppmerksomhet for et arbeid i 1995, der de brukte satellittdata over flere år til å konkludere med at isen rundt Nordpolen var i ferd med å smelte.¹⁰

Et tidlig tverrfaglig klimainitiativ med utspring i universitetet var forskningsprogrammet Cardeep (Carbon Dioxide and Deep Water Formation), som ble igangsatt i 1992 etter initiativ fra biologen Ulf Lie ved Senter for miljø- og ressursstudier, hvor prosjektet fant sitt hjem. Jansen, som også hadde bistilling ved Nansensenteret, koordinerte søknadene og prosjektet. Målet var å studere den klimatiske betydningen av dypvannsdannelse, betydningen av varme og tetthet på havstrømmene, og havets rolle i karbonkretsløpet. Programmet ble opprinnelig finansiert av Norges almenvitenskapelige forskningsråd, og etter hvert av EU-midler til konkrete prosjekter.¹¹

Jansen ledet også søknadsarbeidet for å bli et senter for fremragende forskning. Tre vitenskapelige argumenter lå til grunn for søknaden. For det første at klimaforskningen var av stor samfunnsmessig betydning og krevde langsiktig innsats. For det andre at Bergens beliggenhet var gunstig for denne type forskning, særlig på grunn av nærheten til Arktis, som ifølge FNs klimapanel var der de største klimaendringene ville inntreffe. Og for det tredje at Bergen hadde flere sterke miljøer, som hadde vist at de evnet å samarbeide. Det fantes kompetanse på fortidig klima, nåtidige observasjoner og framtidig modellering, og lovende forskere i rett alder. De ulike institusjonene trakk i samme retning.¹²

Bjerknessamarbeidets søknad om å bli et fremragende senter nådde opp, så fra 2003 ble den bergenske klimaforskningen sikret ti års finansiering, som Bjerknessenteret. Senterets første årsberetning inneholdt omtaler av Vilhelm og Jacob Bjerknes og framhevet at de var pionerer i værvarsling og klimaforskning. Men hva hadde et tverrfaglig senter for klimaforskning med Vilhelm og Jacob Bjerknes å gjøre?

¹⁰ Johannessen, Miles & Bjørge 1995.

¹¹ Aksnes mfl. 2011, Jansen 1999: 39–40.

¹² Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 303.

Bjerknes og klimaforskningen

Vilhelm Bjerknes er en ruvende skikkelse i norsk geofysikk- og vitenskapshistorie. Takket være et stipend fra Carnegie-stiftelsen hadde han fra 1906 og i de neste 35 årene midler til å ansette assistenter. Omtrent en hel generasjon skandinaviske geofysikere startet sine karrierer som Bjerknes-assistenten.¹³ Da Norsk geofysisk forening ble stiftet i 1917, skjedde det på Vilhelm Bjerknes' hytte på Geilo, og Bjerknes var selvsagt som foreningens første leder.¹⁴ Ved hundreårsjubileet for hans fødsel i 1962 ga *Geofysiske publikasjoner* – tidsskriftet foreningen tok initiativ til – ut et spesialnummer med en fyldig bibliografi, komplett publikasjonsliste og elleve større arbeider fra tidligere assistenter.¹⁵ Den amerikanske meteorologiforeningen sponset trykkingen av 3000 ekstra eksemplarer, Posten lanserte egne Bjerknes-frimerker, og regjeringen ved kirke- og utdanningsminister Helge Sivertsen bestilte byster av Bjerknes i foræring til både UiO og UiB.¹⁶

Begge universitetene hevdet retten til arven. Vilhelm Bjerknes hadde arbeidet ved flere institusjoner gjennom sin uvanlig lange forskerkarriere. Forskningsinteressene ble formet gjennom tolv år som professor i mekanikk og matematisk fysikk ved Stockholms Högskola (1895–1907). Deretter ble han professor ved Det Kongelige Frederiks Universitet i Kristiania, hvor han tidligere hadde vært student og tatt doktorgrad, før han i 1912 ble kallet til et professorat i Leipzig. I 1917 ble han hentet fra det krigsherjede Tyskland til et professorat i meteorologi ved Bergens museums nyopprettede geofysiske institutt. Han flyttet tilbake til Oslo i 1926, etter lengre tids misnøye med forholdene i Bergen og skuffelse over at planene om å etablere et bergensk universitet med meteorologi som del av et fysisk institutt hadde strandet.¹⁷ Vilhelm Bjerknes virket i Oslo til sin død i 1951. På 1960-tallet var det Universitetet i Oslo som trykket Bjerknes-arven til sitt bryst. På initiativ fra Bjerknes-assistenten Einar Høiland ble en av de tre matematikk-

13 Sverdrup 1951: 217–221.

14 Johnsen 2017: 3–4.

15 *Geofysiske publikasjoner* (1962), vol. 24: In memory of Vilhelm Bjerknes (1862–1951) on the 100th anniversary of his birth.

16 Petterssen 1962: 299–300.

17 Hovland 2007: 30, 33–38.

bygningene som åpnet på Blindern i 1966, døpt Vilhelm Bjerknes' hus.¹⁸

Bergensskolen i meteorologi var allerede anerkjent, men med Bjerknes-samarbeidet var det Bergen som tok familienavnet tilbake. I en kronikk i forbindelse med at Bjerknes-senteret ble et senter for fremragende forskning, skrev professor Grønås at UiB hadde et ansvar for å hedre Bjerknes og hans arbeid, at forskerne ved Bjerknessenteret sto i en naturlig utvidelse av Bjerknes' vitenskapelige program, og at klimaforskningen i Bergen forhåpentligvis ville «få lignende betydning for menneskeheten» som Bjerknes' arbeider i meteorologi.¹⁹ Hadde Bjerknes-navnet noe med klimaforskningen å gjøre? Eller var det bare snakk om å låne et berømt navn for å gi klimaforskningen tyngde og prestisje? Svaret er komplisert. Bergen var et senter for klimaforskning også i Vilhelm Bjerknes' tid, men den var det havforskningskollegene som sto bak. Selv mente Bjerknes at samtidens klimaforskning var prematur.

Tjue år før han kom til Bergen, hadde Vilhelm Bjerknes utviklet sirkulasjonsteoremet, som forklarer matematisk hvordan virvler kan oppstå i havet og i lufta. Bjerknes konsentrerte seg etter hvert om atmosfæren og lanserte i 1904 et program med ambisjon om å gjøre værvarsling til «en eksakt vitenskap», basert på fysikkens lover. Så sant man var i stand til å stille værrets *diagnose*, det vil si å gjøre nøyaktige observasjoner av temperatur, lufttrykk, luftfuktighet og vindretningen, ville det i prinsippet være mulig å regne seg fram til en nøyaktig *prognose* for været fram i tid.²⁰ Der hans tidligere arbeider omhandlet både havstrømmer og atmosfæren, var stipendet fra Carnegie kun knyttet til sistnevnte. Oseanografien og meteorologien skilte lag. Mens Vilhelm konsentrerte seg om teori, var sønnen Jacob involvert i arbeidet med å gjøre teoriene om til metoder for praktisk værvarsling, fra 1918 som den første lederen for Værvarslinga på Vestlandet. Snart publiserte de flere artikler som blir ansett som klassikere, og «Bergensskolen i meteorologi» har fått status som miljøet som ga værvarsling et vitenskapelig fundament.²¹

18 Palm 1974: 125. De andre bygningene fikk navn etter Niels Henrik Abel og Sophus Lie.

19 Bergens Tidende 13. juni 2002, S. Grønås: «Arven etter Vilhelm Bjerknes».

20 Ambisjonen om en «eksakt vitenskap» ble først formulert i Bjerknes 1904: 1–7. Gramelsberger 2009: 669–673.

21 Friedman 1989, Nebeker 1995, Harper 2008, Nilsen og Vollset 2016, Vollset, Hornnes og Ellingsen 2018.

Høydepunktet er en modell av sykloners (lavtrykk) livssyklus og bevegelse i atmosfæren, en værvarslingsmetode basert på luftmasseanalyse, og at uværssystemer på våre breddegrader dannes langs «polarfronten» der varme luftmasser fra sør møter kalde luftmasser fra Arktis.

Samme år som Bjerknes kom til Bergen, utga Bjørn Helland-Hansen og Fridtjof Nansen en klimastudie.²² Der værvarslingen arbeidet for å varsle været de kommende to–tre dagene, var oseanografene drevet av et ønske om å utvikle sesongvarsler. Ambisjonen ble lansert i verket *The Norwegian Sea* i 1909: «Vi tror at disse oppdagelsene gir oss et berettiget håp om at det ved fortsatte undersøkelser vil være mulig å forutsi forholdene for klima, fiskerier og jordbruk måneder eller år i forveien.»²³ Nøkkelen til langtidsvarsler, mente de to, var havet. Golfstrømmen var årsaken til at Skandinavia har et temperert klima, og varmekapasiteten til havvann er mer enn 3000 ganger høyere enn varmekapasiteten til luft.²⁴ Kunne en ganske enkelt bruke overflatetemperaturene i havet til å varsle temperaturene på land noen måneder senere? Dette var observasjoner skip i atlantehavstrafikk hadde gjort rutinemessig. Mens verdenskrigen pågikk, og egen toktvirksomhet ble satt på pause, fikk en tysk assistent i oppdrag å gå gjennom arkivene hos *Deutsche Seewarte* i Hamburg og analysere målingene fra ti dager hver vår mellom 1898 og 1917. Disse ble så sammenliknet med offisielle temperaturmålinger på land noe tid senere.²⁵

I utgangspunktet så det ut til å være en klar samvariasjon, men detaljene bød på en overraskelse: Heller enn at havtemperaturene påvirket atmosfæren, lot det til at påvirkningen gikk i motsatt retning. Ofte kunne temperaturene på land, for eksempel i Stockholm, endre seg flere dager tidligere enn overflatetemperaturene på havet. Ytterligere analyser av andre meteorologiske observasjoner ga en forklaring: Overflatetemperaturen på havet endret seg som en følge av trykkforskjeller i atmosfæren – trykkforskjeller som forårsaket vind. Ved nordavind ble havet kaldere; med vind fra sør ble havoverflaten varmere. Selv om havstrømmene fraktet mer varme, var

22 Helland-Hansen & Nansen 1917: 1–341.

23 Helland-Hansen & Nansen 1909: IV–V.

24 Helland-Hansen & Nansen 1912: 415.

25 Helland-Hansen & Nansen 1917.

det bevegelsene i atmosfæren som avgjorde overflatetemperaturene. Kunne det være mulig å lage sesongvarsler med utgangspunkt i trykkforskjellene i atmosfæren?

Selv om de ikke fant noen klar lovmessighet, mente Helland-Hansen og Nansen at løsningen måtte ligge i sykliske svingninger på solen. Solen var motoren for atmosfæren – kilden til all energi. Alt på 1840-tallet hadde den tyske astronomen Heinrich Schwabe oppdaget at solflekker forekommer i 11-års sykluser, og de to havforskerne var overbeviste om at det var mulig å finne tilsvarende sykluser på jorden. At dette ikke var avdekket allerede, mente de skyldtes at økt solenergi har ulik effekt på ulike deler av kloden: Noen steder vil økt solenergi gjøre det varmere, andre steder vil mer sol føre til mer vind og dermed en relativ avkjøling. Resultatene var tentative, og i stor grad basert på forskning og funn gjort av andre. Ambisjonen, som Fridtjof Nansen presenterte den i et foredrag i vitenskapsakademiet i Washington, D.C. i januar 1918, var å gi en oversikt over kunnskapsstatus og gi en retning for empiriske klimastudier på globalt nivå.²⁶ Kanskje kunne det gjennom videre klimastudier bli mulig å varsle været ikke bare neste dag, men uker og måneder inn i framtiden. I en utvidet engelsk oversettelse utgitt i 1920 av USAs nasjonalmuseum, Smithsonian Institution, var Bergensskolens nyoppdagede polarfront tatt med som eksempel på hvordan endringer i klimaet kunne gi ulike regionale utslag:

The average position of the 'Polar front' fluctuates over longer periods because of changes in the solar radiation. In other words, the area for rough weather can move and produce more climatological fluctuations; in some places, this would have one effect, elsewhere the opposite. Continuing the study of these matters will hopefully produce such results that one in the future can predict the characteristics of the weather, not only for the coming day, but for much longer – weeks and months.²⁷

26 Maxon 1918: 135–8.

27 Helland-Hansen & Nansen 1920a: 1–456, sitat s. 361. Hovedfunnene ble også publisert i en serie artikler i det norske tidsskriftet *Naturen*: Helland-Hansen & Nansen 1920b: 12–28, 101–116, 347–361.

Havforskernes klimaforskning siterte altså meteorologene. Men selv hadde Vilhelm Bjerknes tilsynelatende lite til overs for kollegenes forskning. Da han i august 1918 holdt foredrag ved det første skandinaviske Geofysikermøtet i Göteborg, åpnet han med en advarsel mot metodologiske snarveier:

Det er mulig at der kan findes flere veier frem til løsningen av problemet om en tilfredsstillende praktisk veirvarsling. Det er tænkelig at der blant disse ogsaa kan findes bekvemme veier, som fører forbi eller utenom det strenge krav om fuld forstaaelse av de fænomeners hvis utvikling man skal forutsi. For saadanne veier har jeg for min personlige del ingen interesse. Jeg interesserer mig kun for den vei, som fører ret gennem det ubønhørlige krav om den fulde forstaaelse.²⁸

Foredraget dreide seg om værvarsling, men det må ha vært tydelig for tilhørerne at kritikken også rammet Helland-Hansen og Nansens klimastudie. Metoden de hadde benyttet, gikk i hovedsak ut på å lete etter mønstre og samvariasjoner i gjennomsnittsmålinger for ulike tidsperioder, fra dager og uker, til måneder og år. Å lete etter mønstre i statistikken var nettopp den type snarvei som Bjerknes advarte mot. Om man ikke først hadde kjennskap til de bakenforliggende fysiske mekanismene i hav og atmosfære, ville målet om å gjøre geofysikken til en «eksakt vitenskap» være en umulighet. Vilhelm Bjerknes var følgelig aldri involvert i klimaforskningen.

Da første verdenskrig var over, og havforskerne igjen kunne dra på tokt for å ta nye målinger, ble den globale klimaforskningen lagt på hyllen. Oseanografene forholdt seg i hovedsak til det som foregikk under overflaten, mens meteorologene i stadig større grad konsentrerte seg om øvre luftlag – der skyene og været blir til. I 1924, etter et opphold som konsulent hos Det sveitsiske meteorologiske institutt i Zürich, forsvarte Jacob Bjerknes sin doktorgrad om bruk av fjellobservatorier i værvarsling, ved Universitetet i Kristiania.²⁹

Arbeidet bekreftet det som tidligere kun var antakelser om sykloners tredimensjonale strukturer. Tilbake i Bergen tok han initiativ til å få bygget et tilsvarende fjellobservatorium i Norge

28 Bjerknes 1919: 3–16, sitat s. 3.

29 Bjerknes 1926: 3–18, Eliassen 1995: 10.

på Fanaråken, 2062 meter over havet.³⁰ Etter dette konsentrerte Jacob – fra 1931 i farens gamle professorat ved Geofysisk institutt – seg om å samle tredimensjonale observasjoner av sykkloner ved hjelp av internasjonalt koordinerte slipp av værballonger.³¹ I 1939 reiste han til USA for et forskningsopphold, ble landfast på grunn av krigen, og flyttet ikke tilbake. Isteden bygget han opp et meteorologisk institutt ved University of California Los Angeles (UCLA), og utdannet snart værvarslere til krigstjeneste.

Etter krigen dreide Jacob Bjerknes interessen fra værvarsling på regionalt nivå til globale fenomener. Først forsøkte han å utarbeide modeller av vindsystemene rundt hele jordkloden. Så fra slutten av 1950-tallet, da han hadde passert 60 år, begynte han å studere havet og lufta i sammenheng. Inspirert av geofysikerkollegene Carl-Gustaf Rossby, Bjørn Helland-Hansen og Harald Ulrik Sverdrup, som alle gikk bort i 1957, forsket han på energiutveksling mellom hav og atmosfære i stor skala.³² I en tid da både meteorologi og oseanografi var i sterk vekst, men som stadig mer adskilte disipliner, skilte denne helhetlige tilnærmingen seg ut fra tendensene i fagene. Et av de store gjennombruddene var å påvise at El Niño, et fenomen der overflatetemperaturen i Stillehavet utenfor Sør-Amerika periodisk blir uvanlig høy, hadde konsekvenser for været i Nord-Amerika og Europa. Dette utvidet forståelsen av været på sesongbasis, og var et viktig steg i å koble verden sammen – på vei mot en ny og mer presis forståelse av klima som et globalt fenomen.

Da geofysikerne på 1990-tallet tok i bruk Bjerknes-navnet, var det ikke klimaforskningen de siktet til. Snarere var det Vilhelm Bjerknes' rolle som berømt forsker og skolebygger, og Jacob Bjerknes' begynnende klimastudier, som ble trukket fram. Navnet hadde sterk klang internasjonalt, det fantes lokal presedens i Nansensenteret og et ønske om å knytte Bjerknes til Bergen. Bjerknes hadde også vært opptatt av arv og tradisjon. I medaljeutstillingen i Bjerknessenterets styrerom på Geofysisk institutt, som ble innviet sommeren 2020, er også Vilhelms far, Carl Anton Bjerknes (1825–1903), trukket fram. Han var professor i matematikk ved universitet i Christiania, brukte hydrodynamikk til å forklare fjernkrefter, og

30 Spinnangr 1926: 342–349.

31 Vollset, Hornnes & Ellingsen 2018: 104–107.

32 Bjerknes 1961: 217–303, Eliassen 1995: 13–15.

var en viktig person i Vilhelm Bjerknes' vitenskapelige virke. Felles for de tre generasjonene var en jakt på å forstå naturen på måter som gjør det mulig å se inn i fremtiden. Men Bjerknes-navnet var mer enn bare en merkevare. Med klimamodellene, spesielt Bergen Climate Model, var ambisjonen om å gjøre klimaforskning til «en eksakt vitenskap» endelig innenfor rekkevidde. Dette kommer vi til snart. Men først: Hva er egentlig klima?

Klima på ulike skalaer

En utfordring med klimaforskningen er at begrepet «klima» har en rekke ulike betydninger.³³ I det antikke Hellas betydde klima «helling», og beskrev solens høyde på horisonten. Jo nærmere ekvator, jo høyere står solen på himmelen. I tråd med dette delte Aristoteles jorden i fem klimasoner, hvor den varmeste lå ved ekvator og de kaldeste ved polene. Antikkens klima var altså globalt. På 1880-tallet definerte den østerrikske meteorologen Julius von Hann klima som et lokalt fenomen. For Hann var klima gjennomsnittsværet på et gitt sted: Klima er hva du kan forvente, været er hva du faktisk opplever. Dette lå til grunn da Den internasjonale meteorologiorganisasjonen i 1935 etablerte en internasjonal standard for hvordan slike gjennomsnitt skulle regnes ut – for måneder og år, regnet over felles 30-årsperioder. Den første var fra 1901 til 1930.³⁴

I Bergen ble Helland-Hansen og Nansens studie av klima som globalt fenomen snart forlatt til fordel for studier av havstrømmene basert på Bjerknes' tilnærming, med samtidige målinger i ulike dybder utført fra ulike skip på strategiske steder. Dette ble aldri gitt navnet klimaforskning, men skulle likevel bli relevant for klimaforskningen som kom senere. Et eksempel er oseanograf Håkon Mosbys store regnestykke over vann, salt og temperatur i Nordsjøen og Norskehavet fra begynnelsen av 1960-tallet.³⁵ Ved hjelp av målinger i stredene som leder inn og ut av havområdene, konkluderte han med at 56 prosent av varmen kom inn gjennom Færøy–Shetland-rennen, mens 31 prosent kom fra solstråling. Før

33 Fleming & Jankovic 2011: 1–15, Fleming 2015: 1–13.

34 Nilsen & Vollset 2016: 263.

35 Mosby 1963: 289–313.

havstrømmen nådde Arktis, hadde 82 prosent av varmetapet gått til atmosfæren gjennom fordampning. Selv om havoverflaten var et slutt punkt – Mosby forfulgte ikke varmen videre inn i atmosfæren – ble denne type energiberegninger, og observasjonene de var basert på, senere innbakt i de koblede klimamodellene som *Bergen Climate Model*.

Heller ikke meteorologene ved universitetet var interessert i klima som et globalt fenomen. Med Jacob Bjerknes i utlendighet ble Carl Ludvig Godske utnevnt til professoratet, først midlertidig, siden permanent. Også han hadde begynt karrieren som assistent for Vilhelm Bjerknes, men Godske forlot etter hvert værvarslingsforskning til fordel for lokalmeteorologi. Et argument han stadig kom tilbake til, var at verden er ulik på ulike skalaer. Værvarslingen interesserer seg for strukturer i atmosfæren som strekker seg over hundrevis av kilometer og tidsrom på en håndfull dager. Dette, mente Godske, var det mer enn nok andre som forsket på.³⁶ I et avisintervju etter at Stortinget i 1946 vedtok opprettelsen av UiB, uttalte han at det nye universitetet måtte skille seg fra UiO. Det hadde ingen hensikt å kopiere fagene og forskningen i hovedstaden, tvert imot. «Oslo har det ikke, derfor må Bergen ha det. Slik skal vi tenke.»³⁷

Selv var han mer interessert i værfenomener i mindre skala, men over lengre tidsrom, det vil si klima på lokalnivå. Interessen blomstret under annen verdenskrig, da den tyske okkupasjonsmakten forbød værvarsling. En studie av minimumstemperaturene i Bergensdalen, utført ved hjelp av et tyvetalls frivillige under krigen, viste at det var store forskjeller i temperaturene, selv helt lokalt.³⁸ Forskningen viste at det var mulig å forutse hvor den kaldeste luften ville oppstå, som usynlige bekker nedenfor myrområder i fjellssidene. Selv om prediksjonen manglet presisjon i tid – ambisjonen var ikke å varsle *når* fenomenet ville oppstå, kun *hvor* – var den matnyttig. Ved hjelp av lokale undersøkelser ble det nemlig mulig å forutse hvor de første frostnettene ville ramme. Dermed kunne man endre landskapet for å lede den kalde luften utenom avlinger.³⁹ Godske samarbeidet tett med professor Olav Skard ved Norges landbruks-

36 Utaaker 1998: 6.

37 Bergens Tidende (BT) (1946, 21. mai). «Vi skal supplere Oslo Universitet – ikke dublere det».

38 Godske 1943, Nilsen & Vollset 2016: 268.

39 Utaaker 1991: 161–165.

høgskole, og innsiktene ble blant annet benyttet av fruktdyrkere i Hardanger, bønder, skogbrukere og byplanleggere. Heller enn detaljerte øyeblikksbilder baserte arbeidet seg i stor grad på å utvikle statistiske metoder, og bruk av elektroniske regnemaskiner (se kapittel 9 i dette bindet).

Forskningen ble relevant for senere klimamodeller, særlig i spørsmål om lokale konsekvenser av klimaforandringer. Godske etablerte også et nettverk for måling av solstråleintensiteten, et arbeid som etter hans død i 1970 ble fortsatt av hans tidligere assistent Kåre Utaaker. Også solenergiens rolle i varmembalansen var relevant i den senere klimamodelleringen.

Bergen Climate Model

Klimamodeller er til en viss grad basert på Vilhelm Bjerknes' eksakte program for værvarsling. De har til felles at de tar utgangspunkt i matematiske beskrivelser av atmosfærens – eller havets – sirkulasjon. De lages ved å dele verden inn i et rutenett, ta hensyn til at hver rute påvirker rutene omkring seg, og for hvert tidssteg regne ut nye verdier. Der værvarslingsmodeller prøver å beregne været de neste dagene, er hensikten med klimamodeller å angi et gjennomsnitt av været, på lengre tidsskalaer. Og der en modell for værvarsling er avhengig av nøyaktige startverdier for temperatur, vind, lufttrykk, og så videre, simulerer klimamodeller sitt eget vær, basert på hvordan modellen responderer på drivkrefter som forskerne legger inn.⁴⁰

I tillegg til likningene som beskriver endringen av atmosfæren eller havets tilstand, inneholder klimamodeller matematiske uttrykk for drivkrefter som kan påvirke klimaet, som for eksempel solabsorpsjon, skydannelse, partikler i lufta, sjøis, isbreer og vegetasjon. Dette er prosesser som kan være svært kompliserte og som foregår på mikronivå. De blir dermed uttrykt i form av parametriseringer, det vil si forenklede matematiske uttrykk som skal fange opp prosessens innvirkning på klimautviklingen. Modellene inneholder således voldsomme mengder informasjon og krever svært stor datakraft. En kompliserende faktor er at de ulike prosessene påvirker

40 Edwards 2010: 145, Iversen 2000: 24–27.

hverandre. Dessuten må klimamodeller ta høyde for vendepunkter av typen: Hva skjer hvis isen på Grønland smelter, eller om Arktis blir isfritt? Etter hvert som datamaskiner har blitt stadig kraftigere, og modellene forbedret, har flere og flere slike prosesser kunnet bli lagt til, og resultatene blir gitt med større geografisk presisjon.⁴¹

De første klimamodellene var rene atmosfæremodeller og ble utarbeidet på siste halvdel av 1950-tallet, noen år etter de første datamaskingenererte værvarslene. Som nevnt ledet Jacob Bjerknes et langvarig prosjekt ved UCLA der målet var å beskrive vindsystemene over hele kloden.⁴² Siden utformingen av modellene var et innviklet arbeid som krevde store forskningsgrupper og kraftige datamaskiner, ble denne type prosjekter lenge regnet som for ressurskrevende for norske fagmiljøer.⁴³

Det første klimamodellprosjektet med en norsk institusjon som part var Noclimp (The Nordic climate modeling project), som startet i 1993, finansiert av Nordisk forskningspolitisk råd.⁴⁴ Deltakerne var i all hovedsak de meteorologiske tjenestene i de nordiske land, mens Norge var representert ved Geofysisk institutt. Meteorologen Nils Gunnar Kvamstø var postdoktor i prosjektet, som gikk ut på å videreutvikle klimamodellen Arpège, utviklet av den franske værtjenesten. Kvamstø arbeidet blant annet med å legge til mer realistiske parametriseringer av skyer og solstråling, noe som viste seg å være komplisert.⁴⁵ Prosjektet førte ikke til nye gjennombrudd, men var like fullt viktig i å bygge lokal kompetanse i klimamodellering.

I 1997 startet et norsk, tverrfaglig samarbeid om klimamodellering, med forskere fra Geofysisk institutt og Nansensenteret fra Bergen, samt Meteorologisk institutt, Norsk institutt for luftforskning (NILU) og UiO. Hensikten med RegClim, som prosjektet ble kalt, var på den ene side å lage en klimamodell tilpasset norske forhold, og på den annen side å samle den relevante kompetansen som fantes i norske fagmiljøer.⁴⁶ Meteorologiprofessor Trond

41 Edwards 2010: 145–146, 338, Iversen 2000: 27.

42 Edwards 2010: 155–159.

43 Eliassen 1974: 32.

44 Nordisk forskningspolitisk råd 1999: 56–58.

45 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 318–319, Kvamstø & Dandin 1998.

46 RegClim står for Regionale klimaendringer under global oppvarming og ble finansiert av Norges forskningsråd gjennom Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag fra 1997 til 2007. Evensen 1999: 16–17, Iversen 1999: 19–20.

Iversen fra UiO var prosjektleder, og Grønås fra Geofysisk institutt representerte bergensinstitusjonene i styringsgruppen.

Miljøene i Oslo og Bergen hadde tidligere ikke samarbeidet så mye med hverandre. RegClim var et forsøk på dette. Oslo- og bergensforskerne jobbet ikke tett sammen her heller, men fordelte delprosjekter mellom seg, med ulike tilnæringsmåter. Dessuten møttes de jevnlig, og visste hva de andre gjorde.⁴⁷ Forskerne samarbeidet dessuten om å få ut fortløpende informasjon om prosjektets framdrift til det norske fagmiljøet. Dette ble gjort gjennom egne sider, redigert av Grønås, i klimasenteret Ciceros publikasjon, *Cicerone*.⁴⁸

Kvamstø ble med i RegClim-prosjektet, det samme ble havforskeren Helge Drange ved Nansensenteret. Gjennom arbeidet som ledet til doktorgraden i 1994, brukte Drange Micom, en amerikansk global modell for havsirkulasjon. Drange og Kvamstø innså at de kunne forsøke å kombinere de to klimamodellene de hadde arbeidet med tidligere. De samlet en liten forskergruppe og klarte i 1999 å koble hav- og atmosfæremodellene sammen, finansiert av såkalte Spissforskningsmidler fra Forskningsrådet. Resultatet fikk navnet Bergen Climate Model og ble presentert i det norske fagmiljøet året etter. Modellen ble umiddelbart brukt til å teste hvilken innvirkning Nord-Atlanteren har på klimaet på våre breddegrader.⁴⁹

Framgangene i modellutviklingen, og samarbeidet som ledet dit, var en fjær i hatten for klimaforskningen i Bergen, og var naturlig å framheve i Bjerknnessamarbeidets søknad om å bli et senter for fremragende forskning (SFF). Etter at Bjerknnessenteret ble etablert i 2003, ble modelleringen en sentral del av senterets virksomhet, med finansiering både gjennom SFF-midlene og RegClim. Et av hovedmålene i RegClim var å bidra til FNs klimapanelts rapport.⁵⁰ Bergensforskerne lyktes med dette. I klimapanelets rapport i 2007 var Bergen Climate Model én av 23 klimamodeller som ble benyttet.⁵¹ Bidraget var et sett simuleringer av klimautviklingen fra år 1850 til 2100, gitt et vidt spekter av betingelser.⁵²

47 Nilsen & Vollset 2016: 404.

48 *Cicerone* skiftet i 2007 navn til *Klima*.

49 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 318–319, Kvamstø & Furevik 2000: 28–31.

50 Evensen 1999: 17.

51 IPCC 2007: 597.

52 Furevik, Bentsen, Drange, Kindem, Kvamstø & Sorteberg 2003, Bjerknnessenteret årsberetning 2005.

Storpolitikk og jakten på det naturlige klima

Den 12. oktober 2007 ble en merkedag for Bjerknessenteret, markert med impromptu champagne i plastkrus på plassen utenfor Geofysisk institutt foran inviterte journalister og fotografer, før feiringen fortsatte med jazz, salsa og restaurantbesøk.⁵³ Tidligere på dagen hadde lederen av Nobelkomiteen, Ole Danbolt Mjøs, offentliggjort at fredsprisen skulle deles mellom FNs klimapanel (IPCC) og Al Gore. Prisen ble gitt for arbeidet med å skape konsensus om sammenhengen mellom menneskelig aktivitet og global oppvarming, og å legge grunnlaget for tiltakene som kreves for å motvirke disse endringene. Nobelkomiteen krevde handling nå, før klimaendringene kom ut av kontroll. Om intet gjøres, vil klima føre til flyktingestrømmer, krig og konflikt, og klimaarbeid er fredsarbeid, var argumentasjonen.⁵⁴ IPCC trykket opp kopier av nobeldiplomet, som de skjenket alle medforfatterne av klimapanelets rapporter. Fordi han var en av to hovedforfattere av kapittelet om paleoklimatologi, havnet et diplom etter hvert hos Eystein Jansen, forskningsdirektør for Bjerknessenteret. Hva var FNs klimapanel, hva er paleoklimatologi, og hva slags vitenskap var det forskerne fra Bergen hadde bidratt med?

IPCC ble opprettet av FN i 1988 for å etablere kunnskapsstatus og utarbeide anbefalinger knyttet til klimaendringer.⁵⁵ Deres viktigste bidrag i å etablere et grunnlag for politisk handling er vitenskapelige *Assessment Reports* publisert i 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 og 2021/22. Rapportene har hatt betydelig politisk innflytelse. To år etter den første rapporten ble FNs klimakonvensjon vedtatt. Denne trådte i kraft i 1994 og etablerte rammer for avtaler om reduksjon av globale klimagassutslipp. Den første forpliktende klimaavtalen, Kyotoprotokollen, ble vedtatt to år etter den andre rapporten, i 1997, og trådte i kraft i 2005. Med Parisavtalen fra 2015, året etter den femte rapporten, er alle land forpliktet til å bidra til å holde menneskeskapt oppvarming under 2 °C, helst under 1,5 °C.⁵⁶

53 BT 13.oktober 2007, «Feiret prisen med sjampis, sasa og jazz». Bergensavisen 13.oktober 2007, «Vil dempe konflikten».

54 Nobels fredspris for 2007 – Pressemelding. Hentet fra: <https://www.nobelprize.org/prizes/peace/2007/9367-nobels-fredspris-2007>

55 Bolin 2008, Hulme & Mahony 2010: 705–718, Randalls 2010: 598–605.

56 UN. Paris Agreement 2015, Article 2a. Hentet fra: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf

Nobelprisen bekreftet og forsterket rapportenes status som den viktigste kilden til autoritativ vitenskapelig kunnskap om menneskeskapte klimaendringer. Selv om Nobelkomiteens utgangspunkt var politisk – et ønske om å sette klimakrisen på dagsordenen, ikke en vurdering av forskningskvaliteten – ga den klimaforskningen prestisje. Bildene av skålende klimaforskere fra trappen til den historiske geofysikkbygningen var tilsvarende symbolske: Prisen kom for et arbeid der svært mange var involvert, og bygget på resultatet av flere generasjoners forskning. Feiringen var ikke bare et uttrykk for stolthet og glede, men kan ses som et ønske om å ta del i noe av prestisjen prisen førte med seg.

Hver rapport fra IPCC består av et sammendrag og tre bind fra tre internasjonale arbeidsgrupper. Den første arbeider med vitenskapen som ligger til grunn for fortidige, nåtidige og fremtidige klimaendringer, den andre med konsekvenser, tilpasning og sårbarheter, den tredje med tiltak, i hovedsak å kutte utslipp av klimagasser.⁵⁷ Hvert bind har et sammendrag for politikere, et teknisk sammendrag, fulgt av vitenskapelige kapitler med to hovedforfattere, et tyvetalls medforfattere og en lengre liste med vitenskapelige fagfeller. Dersom man teller med også dem som er navngitt i referansene, står det flere tusen forskere bak hver rapport.⁵⁸

Det er i første bind, om klimaforskningens vitenskapelige grunnlag, bergensmiljøet særlig har gjort seg gjeldende. I 1995 ble Drange fra Nansensenteret sin ferske doktoravhandling om CO₂-lagring i havet referert i den andre rapporten.⁵⁹ I den tredje rapporten, i 2001, bidro Nansensenterets leder Johannessen og kollega Martin W. Miles som medforfattere i kapittelet «Observed Climate Variability and Change». Jansen og meteorologiprofessor Grønås deltok begge i fagfelle vurderingen. I en spesialrapport fra 2005 om karbonfangst og -lagring var Peter Mosby Haugan medforfatter i kapittelet om CO₂-lagring i havet.⁶⁰ Ved den fjerde hovedrapporten, utgitt i mars 2007, samme år som fredsprisen, var Bjerknessenteret representert med seks forfattere: Dokken,

57 Oreskes 2015: 249–253; IPCC – Working Groups. Hentet fra: <https://www.ipcc.ch/working-groups>

58 For en kritisk kvantitativ analyse av forfatterens nasjonaliteter, se Ho-Lem, Zeriffi & Kandlikar 2011: 1308–1317.

59 Drange 1994; IPCC 1995: 508.

60 Caldeira, A. mfl. 2005: 277–318.

Drange, Heinze, Jansen, Lie og Paasche. I tillegg ble, som nevnt, Bergen Climate Model benyttet, og Jansen var en av hovedforfatterne for det sjette av i alt elleve kapitler, et kapittel om paleoklima. Ved den neste rapporten var han én av 34 forskere bak den viktige sammendragsrapporten.

Jansens spesialfelt, paleoklima, avgrenser seg mot andre deler av klimaforskningen ved at det favner alt unntatt direkte instrumentmålinger. Paleoklimatologi deler ambisjonen om å gjenskape planeten i form av datamodeller, men er ikke interessert i endring fra dag til dag, som Bjerknes var. Snarere enn øyeblikksbilder er man innenfor paleoklimatologi interessert i endringer fra år til år og årtusen til årtusen – i all hovedsak tidsrom lenge før menneskeskapte klimautslipp ble et tema. Paleoklimatologi er en jakt på planetens naturlige klima og naturlige klimaendringer.

Fram til 1970-tallet dreide paleoklimatologisk forskning seg stort sett om å forklare årsakene til istidene, og å predikere muligheten for en snarlig ny istid. Også dette ble det forsket på i Bergen i den første klimaforskningsperioden, i skyggen av Bjerknes og Bergensskolen. I 1918 publiserte Bjørn Helland-Hansen en artikkel sammen med den svenske isbreforskeren Hans Wilhelmsson Ahlmann der de presenterte en mulig forklaring på den siste istiden.⁶¹ Årsaken, mente de to, var at en landheving mellom Færøyene og Shetland hadde halvert mengden varmt Golfstrøm-vann som nådde Norskehavet. Heller enn en kilde til varme førte dette til at Norskehavet fikk en nedkjølende effekt på hele Nord-Europa. At istiden tok slutt, skyldtes en motsatt mekanisme: Landsenking gjorde at de varme havstrømmene igjen nådde Norskehavet, og dermed begynte isen å trekke seg tilbake. Men selv om mekanismen var logisk, var sammenhengene beskrevet med ord fremfor eksakte og presise fysiske formler. Noe senere lanserte serbiske Milutin Milanković en hypotese om variasjoner i banen rundt solen og i jordens helning i faste rytmer på 100 000, 41 000 og 23 000 år. Dette utvidet forskningsfeltet fra én til flere istider, og hadde som nødvendig konsekvens at en ny istid kunne være i vente.⁶²

⁶¹ Ahlmann & Helland-Hansen 1918: 783–792.

⁶² Da en stor klimaundersøkelse fra Det meteorologiske institutt i 1940 viste at gjennomsnittstemperaturen hadde økt med 0,6 grader siste tretti år, førte det til bekymring for at en ny istid var på vei. Etter tørkesommeren i 1947 etablerte Det Norske Videnskaps-Akademi et eget institutt for vær- og klimaforskning under ledelse av Einar Høiland, men

På 1970-tallet begynte de første utforskingene av den lille istiden og middelalderens varmeperiode, og interessen har siden dreiet seg mot å forstå hvordan klimasystemet har endret seg som følge av ytre påvirkning («climate forcing»). Forskingen er motivert både av å forstå mekanismer og mønstre, av å få et sikrere tallfestet datagrunnlag og av å kunne forutsi hvordan klimasystemet vil reagere på endringer i fremtiden.

Paleoklimatologiens datagrunnlag er indirekte, og ulike typer målinger er som puslespillbrikker i et større bilde. I Bergen har særlig analyser av hvordan partikler fra atmosfæren er bevart i iskjerner, og isotopsammensetningen i mikroskopiske skall i sedimentkjerner fra havbunnen vært viktige. Prøvene har til felles at de er formet gjennom årlige lag, og dermed – lik årringer i trær – er det mulig å lese seg bakover i tid. Jo dypere en går, jo lenger tilbake i tid observerer man, og jo større blir usikkerheten. Det er også viktig *hvor* prøven blir tatt. Norskehavet er spesielt sentralt, da havområdet fungerer som ventilator for resten av verdenshavet.⁶³ Paleoklimatologene i Bergen, med professor Jan Mangerud i spissen, kunne trekke veksler på geofysikernes lange tradisjoner for feltforskning i polområdene og til sjøs. Da forskningsskipet Håkon Mosby ble sjøsatt i 1980, hadde det utstyr for å hente sedimentkjerner på inntil 12 meters dyp. Forskningsskipet G.O. Sars, sjøsatt i 2003, har utstyr til å ta sedimentprøver inntil 75 meter under havbunnen.

Prøvene analyseres i egne spesiallaboratorier. I 1983, mens han fremdeles var stipendiat, var Jansen sentral i opprettelsen av Nasjonallaboratoriet for geologisk massespektrometri ved Geologisk institutt, og ledet det fram til 2000.⁶⁴ Mens klimamodellene kun forsøker å gjenskape fysikkens lover, gir prøvene kvantitative observasjoner som kan brukes til å verifisere modellresultatene, å teste om resultatene er realistiske. I 2007 ga studiet av iskjerner et bilde av endringer de siste 650 000 år – 7 år senere var tidsperioden utvidet til 800 000 år.⁶⁵ Prøvene har vist at CO₂-nivået i atmosfæren i førindustriell tid varierte mellom 180 og 300 deler per million

instituttet prioriterte tidlig studier av hydrodynamikk og værvarsling fremfor videre klimaforskning. Vollset 2015: 91–95; Nilsen & Vollset 2016: 262–265, 323.

63 BT 30. juni 1988, «Norskehavet fortel klimahistorie (J. Lindebotten).

64 Brøggerprisen 2019, Academia Europaea 2012.

65 Jansen mfl. 2007: 438; IPCC 2014: 11, 297.

(ppm) – mot 379 i 2007, og 410 i 2019.⁶⁶ Mellom 1960 og 1999 økte nivået minst fem ganger raskere enn i noen annen 40-årsperiode de siste 2000 år. Studiene viser at dramatiske klimaendringer har forekommet også tidligere, både oppvarming og nedkjøling, men disse var trolig regionale skiftninger som følge av endringer i havstrømmene, ikke globale fenomener.

Paleoklimatologien har dokumentert en nøye sammenheng mellom atmosfæretemperatur og klimagassene karbondioksid, metan og nitrogenoksid, og står bak noen av de mest dramatiske funnene i klimarapportene. Eksempler er at oppvarmingen på 1900-tallet foregikk ti ganger raskere enn oppvarmingen etter forrige istid, og at det globale havnivået mellom de siste istidene, for 125 000 år siden, sannsynligvis var mellom fire og seks meter høyere enn i dag.⁶⁷ Dette et varsel om konsekvenser av et varmere klima, konsekvenser som verden har forpliktet seg til å motvirke.

Fra 1990-tallet har klimamodellene blitt stadig viktigere forskningsverktøy. Modellene kan fylle inn hullene – der det mangler observasjoner både i tid og rom – og de kan testes mot hverandre for å se hvilke simuleringer som produserer resultater som best passer med de fysiske dataene. I prinsippet er modellene som benyttes for å studere fortidsklima, nåtidsklima og klimascenarier for fremtiden, de samme. I takt med økende regnekraft har modellene blitt stadig mer detaljerte – med egne moduler for ulike typer vegetasjon, og kjemiske prosesser i havet. Selv om modellene klarer å gjenskape fortidens klima, er klimaendringene siden 1950 ikke mulig å reprodusere uten å ta med menneskeskapte drivhusgasser.⁶⁸ Avstanden mellom jorden og solen tilsvarer nå en begynnende kuldeperiode. Likevel er det svært usannsynlig med en ny istid de nærmeste tretti tusen årene.⁶⁹

66 Jansen mfl. 2007: 444–447, 463.

67 Jansen & Overpeeket mfl. 2007: 436, 458.

68 Sst.: 436.

69 Sst.: 454.

Nysgjerrig, nyttig og politisk

Finansieringen av Bjerknessenteret gjennom Senter for fremragende forskning-ordningen varte fra 2003 til og med 2012 og utgjorde om lag 17 millioner kroner årlig fra Forskningsrådet, en tilsvarende egenandel fra universitetet, samt noe mindre summer fra Nansensenteret og Havforskningsinstituttet. Etter vedtatte retningslinjer fra 2002 i universitetsstyret ble eksterne forskningsmidler administrert av Unifob.⁷⁰ Med et nytt vedtak i 2007 ble Bjerknessenteret flyttet tilbake til universitetet selv. Unifobs klimaforskning forble i Unifob og Unifob gikk inn som partner i Bjerknes-samarbeidet. Gjennom samarbeidet ble det gjort tydelig hvilke miljøer ved universitetsinstituttene som var innenfor, og hvilke som sto utenfor den nye satsingen. Samtidig ble det noe murring. Eksempelvis var mange av de vitenskapelig ansatte ved Geofysisk institutt også tilknyttet Bjerknessenteret. Bjerknes-forskerne fikk tilgang til assistenter og stipendiater og muligheter til frikjøp, mens noen av dem som sto utenfor Bjerknessenteret, følte at de dermed ble sittende med ansvar for instituttet i hele sin bredde, inkludert undervisningen på lavere grad.⁷¹

Aktiviteten i senteret de første årene fulgte planene som ble lagt i Bjerknessamarbeidet. Forskningen ble inndelt i åtte temaer, som alle dreide seg om forståelse av klimasystemet, i tråd med hensikten bak SFF-ordningen om å støtte grunnforskning. Senteret satset på fagområder der miljøene sto sterkt fra før. De tidligere nevnte feltene klimamodellering og paleoklima sto helt sentralt; det samme gjorde havsirkulasjon og studier av klimaprosesser i havet.⁷²

Senteret prioriterte å hente inn forskningsstøtte også fra andre kilder. I 2004 startet Forskningsrådet et stort program for klimaforskning, Norklima, som de neste ti årene bevilget over en milliard kroner. Forskerne ved Bjerknessenteret oppnådde store midler herfra, som i 2005 med drøyt 26 millioner fra Norklima og andre kanaler i Forskningsrådet, altså betydelig mer enn midlene

70 Hovland & Ellingsen 2007: 135.

71 Samtale Peter Mosby Haugan, 24. juni 2021.

72 Se for eksempel Bjerknessenteret årsberetning 2003.

fra SFF-ordningen.⁷³ En annen viktig inntektskilde var EUs rammeprogram for forskning, som har utgjort omtrent en fjerdedel av eksterntfinansieringen. Særlig viktig har EU-tilslagene vært i oppbyggingen av kjemisk oseanografi og Christoph Heinzes gruppe som studerer karbonkretsløpet. EU-midlene er ikke bare viktige på grunn av pengesummen: Å nå opp i konkurransen får oppmerksomhet og blir sett som et tegn på kvalitet, og gjør miljøet i stand til å tiltrekke seg internasjonalt ledende forskere.

SFF-statusen gjaldt i 10 år, noe som var klart fra starten av. Høsten 2009 presenterte regjeringen Stoltenberg et forslag om videre statlige midler til et klimaforskningscenter i Bergen, og dette ble fulgt opp i statsbudsjettet i 2010, med en støtte på 20 millioner kroner årlig i 12 år, en sum som kort tid senere ble økt til 25 millioner. Bevilgningen førte til en viss diskusjon blant partnerne om hvordan midlene skulle disponeres. For der SFF-bevilgningen var grunnforskningsorientert, var det en ny innretning av forskning som nå fikk statsstøtte. Bevilgningen var til en enhet som i større grad skulle drive anvendt forskning.

Løsningen ble opprettelsen av et nytt senter under navnet Senter for klimadynamikk ved Bjerknessenteret, med Tore Furevik, professor i oseanografi, som leder. Det ble organisert innenfor universitetet, og de tidligere partnerne var fortsatt med.⁷⁴ Konkrete føringer ble formulert for å etterleve det nye mandatet. Enkelte oppgaver var formalisering av eksisterende aktivitet. Blant annet skulle Senter for klimadynamikk geografisk først og fremst konsentrere seg om Nord-Europa og Nordområdene, noe også Bjerknessenteret gjorde i SFF-tiden. Videre skulle senteret bidra til FN's klimapanel, og utvikling og drift av de tidligere omtalte klimamodellene ble lagt til det nye senteret. Noen føringer var imidlertid nye, som at senteret skulle bidra til doktorgradsutdanning ved universitetet og utvide samarbeidet med klimasentre i andre land.⁷⁵

Når det gjaldt faglige føringer, sto klimaforståelse fortsatt sentralt, men det var også et mål å fremme oppdragsforskning og studier av tilpasning til et nytt klima. Dette var nytt. Senter for klimadynamikk formulerte seks strategiske tema, som var rela-

73 Bjerknessenteret, årsberetning 2005.

74 UiB, universitetsstyret, sak 51/2010.

75 Sst.

tivt generelle og rommet mye av den eksisterende forskningen, men som også åpnet for de nye forskningsmålene. Gjennom intern utlysning ble det – for hvert tema – utformet ett tidsavgrenset forskningsprosjekt som involverte forskere på tvers av vertsinstitusjonene. Ved siden av dette besto Bjerknnessenterets egne forskningsgrupper og egne eksternfinansierte prosjekter.⁷⁶

Flere vitenskapelige konsekvenser av den organisatoriske endringen understrekes av Gigliola Mathisen Nyhagen i hennes doktoravhandling fra 2015.⁷⁷ Et av Nyhagens poenger er at nye finansieringsformer gir ny institusjonslogikk, som også preger valg av forskningsspørsmål. Imidlertid forsvinner ikke nødvendigvis den opprinnelige institusjonslogikken; den har fortsatt å eksistere side om side med den nye.

Allerede før organisasjonsstrukturen formelt var blitt endret, skjedde det en reorientering i deler av Bjerknnessenterets aktivitet. Forskere prioriterte områder der det var mer sannsynlig at den nye finansieringen ville komme.⁷⁸ En konsekvens var at senteret fikk enkelte nye prosjekter med regionalt og lokalt tilsnitt. Lokalklimatiske spørsmål i tradisjonen etter Godske ble tatt inn i senterets virksomhet. For eksempel ble det i 2009 satt i gang prosjekter om utvikling av nedbør på Vestlandet, endring av havnivået med spesielt fokus på Vestlandskysten, og klimaendringenes konsekvenser for kommunal og fylkeskommunal infrastruktur (de to første støttet av Bergen kommune, det siste av kommunenes interesseorganisasjon, KS). Dette var forskningstema som ikke var berørt i de første årene av SFF-senteret. Også næringslivsaktører som Statoil-Hydro støttet aktiviteter i denne perioden, om blant annet ekstremvær, isen i Arktis og kartlegging av vindressurser.⁷⁹

Som Nyhagen også tar opp, skjedde endringene dessuten som en følge av endrete prioriteringer i Forskningsrådets programmer. Programmet Nor klima, som Bjerknnessenteret nøy godt av de første årene, bevilget for det meste penger til forskning om

76 De seks strategiske temaene var «Prosessforståelse og usikkerhet», «Naturlige og menneskeskapte klimaendringer», «Regionalisering og ekstremere», «Klimafølsomhet og terskler», «Fortidens, nåtidens og fremtidige endringer i havnivå» og «Karbonkretsløpet og det marine økosystem». Senter for klimadynamikk, Faglig og økonomisk rapport for 2011.

77 Nyhagen 2015.

78 Sst.: 138.

79 Bjerknnessenteret, årsberetning 2006–2009.

forståelse av klimaendringer innenfor et svært langt tidsrom. Når det så kom resultater ut av denne forskningen, som ga mer kunnskap og ny klimaforståelse, var det naturlig, sett fra programstyret i Forskningsrådets ståsted, heller å prioritere problemstillinger om klimaendringenes samfunnskonsekvenser og tilpasning til nytt klima.⁸⁰ Innsikt i tidligere tiders klimavariasjon ble mindre verdsatt i Forskningsrådets utlysninger, mens paleoklimaforskningen ikke i like stor grad ble tilgodesett innenfor disse rammene. Blant flere av Nyhagens informanter ble dette sett som en nedvurdering av grunnforskning til fordel for politisk styrt nytteforskning.⁸¹

Et aspekt Nyhagen ikke berører, er at senterets økende politiske relevans også trolig trakk virksomheten i mer anvendt retning. I større grad enn hva som har vært vanlig i andre toppforskningsmiljøer, ønsket Bjerknessenteret fra starten å ha politisk påvirkningskraft. Senteret hadde et uttalt mål om å være primær premisseleverandør for kunnskap om klimaendringer til politikere, industri og folk flest.⁸² Særlig etter tildelingen av fredsprisen i 2007 fikk klimaforskere posisjon i offentligheten og større muligheter til å formidle forskningsbaserte innsikter. Dermed ble studier av klimaeffekter mest relevant å trekke fram, og følgelig også viktig å forske på.

En av de viktigste oppgavene innenfor Senter for klimadynamikk var, som nevnt, å utvikle klimamodeller. I 2007 hadde Bjerknessenteret inngått et samarbeid med Meteorologisk institutt og UiO for å etablere en ny modell som erstattet Bergen Climate Model. Slike modeller var blitt enda mer komplekse enn under det tilsvarende RegClim-samarbeidet i 1997. Tidligere hadde modellene vært mulig å forstå for én forsker. Nå var det både naturlig og nødvendig at klimamodellering ble gjort av store team på tvers av institusjoner og landegrenser.

Den nye modellen fikk navnet Norwegian Earth System Model (NorESM). Utgangspunktet var en åpent tilgjengelig global modell. Forskere ved Bjerknessenteret la til en modul for havsirku-

80 Norges forskningsråd 2014: 6.

81 Nyhagen 2015: 147–149.

82 «The ambition of the Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR) is to become a leading international centre for climate research in the high latitudes and the key provider of top quality knowledge on climate change to stakeholders, i.e. policy makers, industry and the general public.» Bjerknessenteret, årsberetning 2003.

lasjon, og forskere i Oslo la til beskrivelse av partikler i lufta (som havsalt, sot og aerosoler) og hvordan disse påvirker stråling, skyer og nedbør. I tillegg inneholdt modellen en modul for karbonkretsløp i vann, utviklet av forskere i Hamburg.⁸³ En samlet modell var klar i 2013, og i 2020 fulgte videreutviklingen NorESM2, begge representert i IPCC-rapportene.⁸⁴

I 2014 ble Senter for klimadynamikk og Bjerknnessenteret slått sammen under Bjerknnes-navnet.⁸⁵ Siden navnet var blitt en sterk merkevare, skulle det beholdes.⁸⁶ Sammenslutningen innledet en tredje fase i senterets virksomhet, der de statsfinansierte oppgavene og senterets egne forskningsprosjekter ble integrert samtidig som hele senteret vokste ytterligere. I de fem første årene etter sammenslutningen økte antallet personer tilknyttet senteret fra 195 til 252.⁸⁷

I en omorganisering i 2017 gikk senteret fra sju forskningsgrupper til en inndeling i fire grupper med hvert sitt tverrfaglige forskningstema: globalklima, polarklima, karbonsyklus og klimafarer. En del av motivasjonen var å tydeliggjøre forskningen og la den være mer i samsvar med de globale klimaproblemene.⁸⁸ Særlig utskillelsen av klimafarer som egen avdeling må sies å ha vært et eksplisitt forsøk på tydeliggjøring, og viser at klimatilpasning relativt raskt fikk innpass i virksomheten. Innenfor Klimafarer-gruppa har eksempelvis paleoklimatologer studert spor etter flom for 8000 år siden i innsjøen Lygne i Agder, og modellutviklere har arbeidet med å predikere hvor mye vannstanden i norske elver vil øke ved framtidige tilfeller av ekstremvær og oversvømmelser.⁸⁹

Bjerknnessenterets konsolidering og vekst har skjedd i en periode der klimaforskning har spredt seg til store deler av forskningslandskapet. Store summer er kanalisert inn i klimaforskning både i Norge og internasjonalt, og forskerne ved Bjerknnessenteret er langt fra de eneste ved UiB som studerer klima. I 2010 tok for eksempel professor i fransk språkvitenskap Kjersti Fløttum initiativ til prosjektet LINGCLIM som undersøker språkbruk i klimaspørsmålet.

83 Bjerknnessenteret 2021.

84 Bentsen mfl. 2013: 687–720, Flato mfl. 2013, Seland mfl. 2020: 6165–6200.

85 Senter for klimadynamikk, årsberetning 2013.

86 Vaugan, Döscher, Koszalka, Bates & Otto-Bliesner 2017.

87 Bjerknnessenteret, årsberetninger 2014 og 2019.

88 Vaugan, Döscher, Koszalka, Bates & Otto-Bliesner 2017.

89 Bjerknnessenteret, årsberetning 2019.

I likhet med klima er språk et usynlig fenomen, og klimaendringer har endret seg fra å være i hovedsak et fysisk eller geofysisk fenomen til en samfunnsutfordring med politiske, økonomiske, etiske og kulturelle konsekvenser.⁹⁰ Prosjektet har utviklet seg til en tverrfaglig forskergruppe som med finansiering fra Norges forskningsråd har gjennomført flere prosjekter, i samarbeid med blant annet Bjerknassenteret, Norsk Medborgerpanel og Det samfunnsvitenskapelige fakultets Senter for klima og energiomstilling (CET), som har hatt grunnbevilgning fra Kunnskapsdepartementet fra 2017. Siden 2017 har dessuten Forskergruppen for miljøhumaniora, ledet av Rasmus Slaattelid ved Senter for vitenskapsteori, vært hjem for flere tverrfaglige prosjekter. Kulturviter Kyrre Kverndokk leder blant annet et forskningsrådsfinansiert prosjekt om hvordan dagens mennesker bruker begreper om tid når de snakker og skriver om klimaendringer.

Institutt for biovitenskap har hatt flere prosjekter om klimaendringenes innvirkning på økosystemer og biologisk mangfold, blant dem prosjektet LandPress, som har analysert trusselen fra kraftige tørkeperioder mot forekomsten av røsslyng på norske heier. Med midler fra Akademiavtalen mellom UiB og Equinor har et miljø ved Det psykologiske fakultet, med Gisela Petra Böhm i spissen, studert klimapsykologi fra 2016: hvordan vi tenker om og handler ut fra klimaendringer. Og Fakultet for kunst, musikk og design etablerte i 2019 nettverket «Extreme Weather Station», som samler design og kunstneriske uttrykk om klima og bærekraft. For å nevne noen. Bjerknassenteret har hatt koblinger til flere av klimamiljøene rundt om på universitetet, men har i sin egen forskning rendyrket en naturvitenskapelig profil.

Det andre klimaproblemet

Temaet karbonsyklus er det eneste som har hatt en egen forskningsgruppe siden opprettelsen av Bjerknassenteret, og forskningsfeltet har også enda lengre tradisjoner i Bergen. Hvilke problemstillinger som er studert, har imidlertid forandret seg.

Utgangspunktet er at mengden karbon på jorda er konstant.

90 Fløttum 2017: 59.

Men hvor karbonet befinner seg, og i hvilke forbindelser, er skiftende og har stor betydning for klimaet. Når karbonforbindelser nede i grunnen, som olje og kull, blir hentet opp til overflaten og brukt til energi, stiger karbondioksid opp i atmosfæren og gjør kloden varmere. Men om lag 25 prosent av CO₂ som blir sluppet ut i atmosfæren, blir tatt opp i havet.⁹¹ I utgangspunktet er dette gunstig, fordi det bremser drivhuseffekten, men opphopning av karbondioksid i havet har også en uønsket konsekvens: Havet blir surere. Dette kan gi store utslag for livsvilkårene under havoverflaten. En isolert sett gunstig effekt for klimaet kan være svært skadelig for miljøet, og muligens klimaet på lengre sikt.

På 1990- og det tidlige 00-tallet var forskning på kontrollert CO₂-lagring i havet en satsing i Bergen. Drange og Haugan ledet i flere år teoretiske og modellbaserte studier, men i 2002, da tiden var inne for praktiske forsøk, ble disse stanset av miljøvernminister Børge Brende (Høyre). Avslaget ble begrunnet med at departementet hevdet at det var uklart om forsøkene kunne skade liv i havet, og at forsøkene dermed kunne være i strid med forurensningsloven. Forskerne var sterkt uenige i begrunnelsen. Drange påpekte i et leserinnlegg i Aftenposten at mengden karbondioksid som ville bli sprøytet ned i havet i forsøket, tilsvarte 20 sekunders utlipp fra den norske bilparken. Men protestene fikk ikke gjennomslag.⁹²

På denne tiden var ikke havforsuringen kjent utenfor vitenskapelige kretser. Drange og Haugan hadde vært inne på risikoen i sine arbeider, og vissheten vokste i internasjonale havforskningsmiljøer tidlig på 00-tallet.⁹³ De neste årene spredte kunnskapen seg også utenfor det vitenskapelige miljøet og ble kjent som «det andre klimaproblemet».

Å studere forsurensens biologiske konsekvenser gir metodiske utfordringer, fordi organismer tilpasser seg. For eksempel plankton lever kort og kan gjennomgå mange generasjoner på få år. Noen konsekvenser er imidlertid enklere å avklare enn andre. At korallrevene i norske farvann vil svekkes i et surere miljø, kan man fastslå ved kjemiske utregninger og direkte observasjoner.

91 National Oceanic and Atmospheric Administration 2021.

92 Vollset, Ellingsen & Hornnes 2018: 322–327, se også Aftenposten 3.julig 2002, Helge Drange ga uttrykk for at miljøvernminister Børge Brendes utspill forundret (s.8).

93 Haugan & Drange 1992: 320, Caldeira & Wickett 2003: 365.

Oppstarten av Bjerknessenteret sammenfalt i tid med den økte oppmerksomheten rundt havforsuringen, men senteret hadde ikke fagmiljøer til å drive biologiske og fysiologiske studier av problemet. Til å begynne med ble mulig forsuring tatt opp som del av arbeidet med klimamodeller. Som tidligere nevnt er modellene basert på en rekke forenklinger av prosesser i naturen. Datidens modeller ville for det første ta for gitt at havets evne til opptak av CO₂ var uendelig, og for det andre at havets kjemi og biologi ikke ville bli påvirket av tilførselen av klimagassen. Gjennom å sammenlikne simuleringer med observasjoner innså forskere at dette ikke var helt realistisk.⁹⁴

Etter noen år kom studieområdet mer inn i senterets aktivitet. I 2007 samarbeidet Richard Bellerby, Gisle Nondal og Craig Neill med et forskerteam fra Leibniz-instituttet i Kiel om en studie om forsuringens konsekvenser for livsvilkårene i havet.⁹⁵ Forskerne samlet havvann fra universitetets forskningsstasjon på Espegrend og fordelte vannet i store plastsekker. Sekkene ble tilsatt ulike mengder CO₂ og næringsstoffer slik at forskerne kunne observere effekten av karbondioksid på organismene i vannet. De kom fram til at planteplankton var i stand til å absorbere mer karbondioksid enn tidligere antatt, men at den tilhørende forsuringen ville påvirke korallrev og kalkskallet til enkelte planktonarter, som igjen ville svekke livet i havet. Dessuten ville dyr som spiste dette planktonet, få for mye karbon i magen slik at de ikke fikk i seg tilstrekkelig næring.⁹⁶ Hele næringskjeden i havet ville dermed kunne påvirkes.

Budskapet om forsuring ble forsøkt formidlet utad, og «det andre klimaproblemet» ble et felt der forskerne forsøkte å oppnå politiske endringer. Et generelt problem ved formidling av funn fra klimaforskning er at de alvorligste konsekvensene vil skje mange år fram i tid. Dessuten vil det alltid være en viss usikkerhet ved klimamodeller og framskrivinger, og denne tvilen kan forsinke handling. Følgene av havforsuringen vil derimot skje hurtigere. Dessuten er forsuringen urovekkende i norsk sammenheng på grunn av endringer i fiskebestanden i norske farvann, med alle økonomiske ringvirkninger det vil gi. I den forbindelse skrev forskere

94 Bjerknessenteret, årsberetning 2003: 10.

95 Riebesell mfl. 2007: 545–548.

96 Bjerknessenteret, årsberetning 2007: 12.

ved Bjerknessenteret, Havforskningsinstituttet og Norsk institutt for vannforskning i 2012 en rapport til Klima- og forurensningsdirektoratet som tok opp problemet og konsekvensene dette kan få for økosystemet i norske havområder.⁹⁷ Dette ble slått opp i pressen, men fikk ikke umiddelbare følger annet enn oppfordringer om å redusere utslipp av CO₂.⁹⁸ Imidlertid ble kartleggingsarbeidet i rapporten videreført. Målinger av surhetsgrad langs norskekysten, som var blitt gjort enkelte steder siden 1997, ble fra 2013 statlig finansiert gjennom Miljødirektoratet.⁹⁹

Siden 2016 har Bjerknessenteret hatt ansvar for overvåkingen av karbonkretsløpet i verdenshavene. Da fikk Bjerknessenterets datasenter ansvar for havobservasjonene i den europeiske forskningsinfrastrukturen Integrated Carbon Observation System, ICOS, og senteret drifter en global database for marine CO₂-observasjoner.¹⁰⁰

Overvåking av havets surhetsgrad er i praksis også overvåking av havets opptak av karbondioksid. I 2018 skrev Bjerknessenter-forskerne Are Olsen, Nadine Goris, Siv Kari Lauvset og Ingunn Skjelvan en innføring om surere hav for FNs miljøprogram. Der påpekte de ganske enkelt at pH-verdien i havet synker i takt med at CO₂-nivået øker, og at dette er prosesser som ikke er reversible. Nøytralisering av forsuringen vil ta tusenvis av år. Samtidig understreket de at forsuringen må sees i sammenheng med andre farer for økosystemet i havet, som for eksempel økt havtemperatur, lavere oksygennivå og plastavfall.¹⁰¹ Miljø- og klimaproblemene må med andre ord løses parallelt.

Klimaforskningen som steg opp av havet

Bjerknessamarbeidet ble til ved at forskere ved UiB, Nansensenteret og HI, som var bekymret for at drivhuseffekten var på vei ut av kontroll, på slutten av 1990-tallet innså at de burde slå seg sammen for å oppnå forskningspolitiske mål. Ved å knytte an til Bjerknes-navnet,

97 Chierici mfl. 2012.

98 BT 17.august 2012, «Slår alarm om surere hav» (A. Andersson).

99 Bjerknessenteret 2019.

100 <https://otc.icos-cp.eu/>

101 Olsen, Lauvset, Goris & Skjelvan 2018.

trakk initiativtakene historiske linjer. I så måte er det likheter med Vilhelm Bjerknes, som selv aktivt brukte historiefremstilling til å profilere egen forskning.

Etter tiårsperioden som Senter for fremragende forskning har Bjerknessenteret fått egne bevilgninger over statsbudsjettet. Høsten 2020 ble det klart at finansieringen fra Kunnskapsdepartementet gjennom Senter for klimadynamikk ble fornyet i fem år.¹⁰² Ved å tilpasse aktiviteten etter de til enhver tid gjeldende finansieringsmulighetene har Bjerknessenteret bevart sin posisjon i det norske forskningslandskapet. Senteret har dessuten satset på å få oppmerksomhet blant både befolkning og beslutningstakere. I klimasaken har senteret vært mer synlige enn sine vertsinstitusjoner, men har hatt deres klare støtte.

Temaene det forskes på ved Bjerknessenteret, er gjennomsyret av et dypt politisk alvor, og hvordan man skal prioritere mellom forskning som utvider kunnskapsgrunnlaget om klimaendringer, aktivitet for å redusere utslipp og tilpasning til et varmere klima har preget klimaforskningen siden menneskers påvirkning på drivhuseffekten ble kjent på 1980-tallet. På alle disse områdene er det spenninger mellom å formidle spesialisert forskning, usikkerhet og behov for politisk handling.

Bjerknessenteret viser at tradisjon kan ha stor betydning. Byens havforskere har gjennom mer enn hundre år kombinert feltstudier og langsiktige observasjoner med en matematisk, kvantifiserende tilnærming. Klimaforskningen ved Bjerknessenteret stiller mange av de samme grunnleggende spørsmålene som Nansen og Helland-Hansen gjorde, men på nye måter. Andre disipliner har også spilt viktige roller. Paleoklimatologien har utvidet tidsspenningen langt utover det som var mulig ved meteorologiske og oseanografiske observasjoner. Dermed er det mulig å skille de naturlige klimavariasjonene fra konsekvensene av menneskelig aktivitet. Studier av vekselvirkningen mellom hav og luft, der Jacob Bjerknes var toneangivende, har vært viktig i oppbyggingen av et miljø for klimamodellering, både lokalt, nasjonalt og internasjonalt.

Forskning om vekselvirkning mellom hav og luft er framtre-

102 Krohno 22.oktober 2020, T.A. Fanghol: «Bjerknessenteret får fem nye år med finansiering». Hentet fra <https://khrono.no/bjerknessenteret-far-fem-nye-ar-med-finansiering/525830>

dende også i studier av havvind, som er blant de nyere satsingene ved Geofysisk institutt, og i 2018 ble UiB utpekt av FN-organet United Nations Academic Impact (UNAI) til å være knutepunkt-sinstitusjon for FNs bærekraftsmål 14: Livet i havet.¹⁰³ Slik er også hav- og klimaforskningen internasjonalt anerkjent, noe som også gjenspeiles i UiBs tre hovedsatsingsområder: globale samfunnsutfordringer, klima- og energiomstilling og marin forskning. Forskningen ved Bjerknessenteret er relevant for alle tre.

Litteratur og kilder

- Academia Europaea (2012). *Eystein Jansen – Curriculum Vitae*. Hentet fra https://www.ae-info.org/ae/Member/Jansen_Eystein/CV
- Ahlmann, H.W. & Helland-Hansen, B. (1918). Sambandet mellan kontinentala nivaeforandringar: Norsk-havets oceanografi och de pleistocena inlandsisarna omkring detta haf. *Geologisk Forenings Forhandlingar*, 40(4), 783–792.
- Aksnes, D.A., Egge, J., Giske, J., Haugan, P.M., Jansen, E., Johannessen, T., ... Magnesen, T. (2011, 21. november). Ringer i vannet: Betydningen av et forskerliv. *På høyden*. Hentet fra <https://pahoyden.khrono.no/kronikk/ringer-i-vannet-betydningen-av-et-forskerliv/303730>
- Bentsen, M., Bethke, I., Debernard, J.B., Iversen, T., Kirkevåg, A., Seland, Ø., ... & Kristjansson, J.E. (2013). The Norwegian earth system model, NorESM1-M – Part 1: Description and basic evaluation of the physical climate. *Geoscientific Model Development*, 6(3), 687–720. <https://doi.org/10.5194/gmd-6-687-2013>
- Bjerknes, J. (1921). On the structure of moving cyclones. *Geofysiske Publikationer*, 1(2), 1–8.
- Bjerknes, J. (1926). Diagnostic and prognostic application of mountain observations. *Geofysiske Publikasjoner*, 3(6), 3–38.
- Bjerknes, J. (1961). «El Niño» study based on analysis of ocean surface temperatures 1935–57. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 5(3), 217–303.
- Bjerknes, J. & Solberg, H. (1923). Meteorological conditions for the formation of rain. *Geofysiske Publikasjoner*, 2(3), 3–61.
- Bjerknes, V. (1904). Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 1–7.
- Bjerknes, V. (1919). Veirforutsigelse. Foredrag ved geofysikermøtet i Gøteborg 28. august 1918. *Naturen*, 43(1), 3–16.
- Bjerknessenteret (2007, 10. november). *Havet forsures under økte CO₂ utslipp*. Hentet fra <https://bjerknes.uib.no/artikler/nyheter/havet-forsures-under-okte-co2-utslipp>
- Bjerknessenteret (2019, 25. september). *Havforsuring*. Hentet fra <https://www.bjerknes.uib.no/artikler/faktasider/havforsuring>
- Bjerknessenteret (2020, 30. november). *Bjerknessenteret 20 år* [Filmet foredrag]. Hentet fra <https://khrono.no/bjerknessenteret-20-ar/535837>
- Bjerknessenteret (2021). *Klimamodellutvikling og klimaframskrivninger*. Hentet fra <https://www.bjerknes.uib.no/om/klimamodellutvikling-og-klimaframskrivninger>
- Bolin, B. (2008). *A history of the science and policy of climate change: The role of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.
- Brøggerprisen (2019). *Eystein Jansen hedres for livslang innsats*. Hentet fra <https://www.uib.no/matnat/123422/eystein-jansen-hedres-livslang-innsats>
- Caldeira, K. & Wickett, M.E. (2003). Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425(6956), 365.

- Caldeira, K., Akai, M. mfl. (2005). Ocean Storage. I: B. Metz, O. Davidson, H. de Coinick, M. Loos & Meyer, L (red.), *IPCC special report on carbon dioxide capture and storage* (s. 277–318). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- Chierici, M., Sørensen, K., Johannessen, T., Børsheim, K.Y., Olsen, A., Yakushev, E., Omar, A., Lauvset, S. & Blakseth, T.A. (2012). *Tillførselprogrammet 2011, Overvåking av havsførsuring av norske farvann*. Klif Rapport TA2936/2012.
- Drange, H. (1994). *An isopycnic coordinate carbon cycle model for the North Atlantic; and the possibility of disposing of fossil fuel CO₂ in the ocean* (doktoravhandling). Universitetet i Bergen/Nansensenteret.
- Drønen, S.O. (2018, 8. november). *UiB blir offisiell FN-partner for bærekraftig hav*. Universitetet i Bergen. Hentet fra <https://www.uib.no/sdgbergen/121383/uib-blir-offisiell-fn-partner-b%C3%A6rekraftig-hav>
- EASAC (2021). *A sea of change: Europe's future in the atlantic realm*. (EASAC policy report 42. European Academies Science Advisory Council). Hentet fra <https://easac.eu/publications/details/a-sea-of-change-europes-future-in-the-atlantic-realm/>
- Edwards, P.N. (2010). *A vast machine: Computer models, climate data, and the politics of global warming*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Eliassen, A. (1974). Norsk forskningsvirksomhet i dynamisk meteorologi. I: *Moderne norsk geofysisk forskning: Foredrag holdt ved Oslo geofysikers forenings 25-årsjubileum, 10. mai 1974* (s. 27–35). Oslo: Foreningen.
- Eliassen, A. (1995). *Jacob Aall Bonnevie Bjerknes 1897–1975. A biographical memoir*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- Evensen, R. (1999). Fokus på norske klimaendringer. *Cicerone*, 8(1), 16–17.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S.C., Collins, W. ... Rummukainen, M. (2013). Evaluation of Climate Models. I: T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, ... P.M. Midgley (red.) *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (s. 741–866). Cambridge University Press.
- Fleming, J.R. (2015). Weather and climate as shape-shifting nouns: Gordian Knots of understanding and prevision. *History of Meteorology*, 7, 1–13.
- Fleming, J.R. & Jankovic, V. (2011). Revisiting klima. *Osiris*, 26(1), 1–15.
- Fløttum, K. (2017). Fra usynlig til synlig samfunnsrelevans: Noen eksempler og forslag til tiltak. *Nytt Norsk Tidsskrift*, 34(1), 58–64.
- Fosså, J.H. (Red.) (2002). Havets miljø 2002. *Fisken og havet*, særnr. 2-2002.
- Friedman, R.M. (1989) *Appropriating the Weather: Vilhelm Bjerknes and the Construction of Modern meteorology*. Cornell University Press.
- Furevik, T., Bentsen, M., Drange, H., Kindem, I.K.T. Kvamstø, N.G. & Sorteberg, A. (2003). Description and evaluation of the Bergen Climate Model: ARPEGE Coupled with MICOM. *Climate Dynamics*, 21(1), 27–51.
- Godske, C.L. (1943). On the minimum temperatures in the Bergen valley. *Bergens museums årbok, Naturvitenskapelig rekke*. No. 11. Bergen: John Grieg [Offprint].
- Godske, C.L. (1965). *Statistics of Meteorological Variables: Final Report*. Research conducted for the United States Air Force under contract no. AF 61 (052)-416. Bergen: Geofysisk Institutt.
- Godske, C.L. (1969). The future of meteorological data analysis. *WMO Technical Note No. 100*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Gramelsberger, G. (2009). Conceiving meteorology as the exact science of the atmosphere: Vilhelm Bjerknes's paper of 1904 as a milestone. *Meteorologische Zeitschrift*, 18(6), 669–673. Hentet fra <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2009/0415>
- Harper, K. (2008). *Weather by numbers: The genesis of modern meteorology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Haugan, P.M. & Drange, H. (1992). Sequestration of CO₂ in the deep ocean by shallow injection. *Nature*, 357(6376), 318–320.
- Helland-Hansen, B. & Nansen, F. (1909). *The Norwegian Sea: Its physical oceanography based upon the Norwegian researches, 1900–1904* (Report on the Norwegian Fishery and Marine Investigations, 2(2)). Kristiania: Det Mallingske Bogtrykkeri.
- Helland-Hansen, B. & Nansen, F. (1912). Oceanography. I: R. Amundsen (red.), *The South Pole. An account of the Norwegian Antarctic Expedition in the «Fram» 1910–1912, Vol. 2* (s. 404–438). London: John Murray.
- Helland-Hansen, B. & Nansen, F. (1917). Temperatur-Schwankungen des Nordatlantischen

- Oceans and in the Atmosphere. Einleitende Studien über die Ursachen der klimatologischen Schwankungen. *Videnskapselskaps skrifter, matematisk-naturvidenskapelig klasse*. No. 9, Kristiania.
- Helland-Hansen, B. & Nansen, F. (1920a). *Temperature Variations on the North Atlantic Ocean and in the Atmosphere. Introductory studies on the cause of climatological variations*. Smithsonian Miscellaneous Collections, 70(4).
- Helland-Hansen, B. & Nansen, F. (1920b). Klimavekslinger og deres aarsaker. *Naturen*, 44, 12–28, 101–116, 347–361.
- Ho-Lem, C., Zerriffi, H. & Kandlikar, M. (2011). Who participates in the intergovernmental panel on climate change and why: A quantitative assessment of the national representation of authors in the intergovernmental panel on climate change. *Global Environmental Change*, 21(4), 1308–1317.
- Hovland, E. & Ellingsen, G. (2007). Skiftende diagnoser og varierte inngrep. I: E. Hovland (red.), *I vinden: Geofysisk institutt 90 år* (s. 116–136). Bergen: Fagbokforlaget.
- Hulme, M. & Mahony, M. (2010). Climate change: What do we know about the IPCC? *Progress in Physical Geography*, 34(5), 705–718.
- IPCC (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Contribution of WG1 to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of WG1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of WG1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of WG1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Iversen, T. (1999). RegClim er et unikt norsk forskningssamarbeid. *Cicerone*, 8(1), 19–20.
- Iversen, T. (2000). Hvorfor er det så vanskelig å forutsi klimaet? Forskjellen mellom værvarsling og klimascenarier. *Cicerone*, 9(2), 24–27.
- Jansen, E. (1999). Cardeep (carbon dioxide and deep-water formation): Resultat og erfaringer. I: E. Dahlin (red.), *Forskningsprogram om klima- og ozonspørsmål: Oppsummering av norsk klima- og ozonlagsforskning de siste ti årene og viktige forskningsoppgaver i framtiden* (s. 39–40). Oslo: NILU.
- Jansen, E., Overpeck, J., Briffa, K.R., Duplessy, J.-C., Joos, F., Masson-Delmotte, V., Olago, D., Otto-Bliesner, B., Peltier, W.R., Rahmstorf, S., Ramesh, R., Raynaud, D., Rind, D., Solomina, O., Villalba, R. & Zhang, D. (2007). *Paleoclimate*. I: IPCC 2007: 433–498. Hentet fra https://pubs.giss.nasa.gov/docs/2007/2007_jansen_jao5100g.pdf
- Johannessen, O.M., Miles, M. & Bjørge, E. (1995). The Arctic's shrinking sea ice. *Nature*, 376(6536), 126–127.
- Johnsen, M.G. (Red.) (2017). *Norsk Geofysisk Forening 100 år. En samling artikler i anledning foreningens 100-årsjubileum i 2017*. Tromsø: Nordisk trykk.
- Krohn, C., Degnbol, P., Einarsson, H., Hernroth, L., Jakobsson, J., Thommassen, M., ... Berge, Å. (2001). *Havforskningsinstituttet: Evalueringsrapport*. Oslo: Norges forskningsråd.
- Kvamstø, N.G. & Dandin, P. (1998). *Tests with a new radiation and cloud scheme in the arpege climate model*. Meteorological Report Series. Rapport nr. 8. Universitetet i Bergen.
- Kvamstø, N.G. & Furevik, T. (2000). Ny modell gir mer realistiske klimaberegninger. *Cicerone*, 9(5), 28–31.
- Maxon, W.R. (1918) Proceedings of the academy and affiliated societies: Washington Academy of Sciences. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 8(5), 135–138.
- Mosby, H. (1963). Water, salt and heat balance of the north polar sea and of the norwegian sea. *Geofysiske publikasjoner*, 24(11), 289–313.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2021). *Ocean-atmosphere CO₂ exchange*. Hentet fra <https://sos.noaa.gov/datasets/ocean-atmosphere-co2-exchange/>
- Nebeker, F. (1995) *Calculating the Weather: Meteorology in the 20th Century*. San Diego, CA: Academic Press.
- Nilsen, Y. & Vollset, M. (2016) *Vinden dreier. Meteorologiens historie i Norge*. Oslo: Spartacus Forlag.
- Nordisk forskningspolitisk råd (1999). *Nordic Environmental Research Programme for 1993–1997: Final report and self-evaluation*. København.
- Norges forskningsråd (2014). *Ti år med klimaforskning: Sluttrapport for Norklima 2004–2013*. Hentet fra <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1253996265734.pdf>

- Nyhagen, G.M. (2015). *Changes in funding of higher education and research: Stronger governmental steering and organisational control of higher education institutions and academic behavior?* (doktoravhandling). Universitetet i Bergen.
- Olsen, A., Lauvset, S., Goris N. & Skjelvan, I. (2018). *Revisiting ocean acidification, food security and our earth system*. UN Environment Foresight Brief.
- Oreskes, N. (2015). How Earth science has become a social science. Historical social research/Historische Sozialforschung, Special Issue. *Climate and Beyond*, 40(2), 246–270.
- Palm, E. (1974). Minnetale over professor dr. philos Einar Høiland. I: *Det Norske Videnskaps-Akadem: Årbok 1974*, 120–126. Oslo.
- Petterssen, S. (1962). The Vilhelm Bjerknnes centenary. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 43(7), 299–300.
- Randalls, S. (2010). History of the 2°C Climate target. *WIREs Climate Change*, 1(1), 598–605.
- RegClim (1999). Fakta om RegClim. *Cicerone*, 8(1), 26.
- Riebesell, U., Schulz, K.G., Bellerby, R.G.J., Botros, M., Fritsche, P., Meyerhöfer, M., ... & Zöllner, E. (2007). Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean. *Nature*, 450(7169), 545–548. <https://doi.org/10.1038/nature06267>
- Seland, Ø., Bentsen, M., Olivé, D., Toniazzo, T., Gjermundsen, A., Graff, L.S., ... & Schulz, M. (2020). Overview of the Norwegian Earth System Model (NorESM2) and Key Climate Response of CMIP6 DECK, historical, and scenario simulations. *Geoscientific Model Development*, 13(12), 6165–6200. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-6165-2020>
- Spinnangr, F. (1926). Meteorologisk observatorium paa Fanaraaken i Jotunheimen. *Naturen*, 50(11), 342–349.
- Sverdrup, H.U. (1951). Vilhelm Bjerknnes in Memoriam. *Tellus*, 3(4), 217–221.
- Utaaker, K. (1991). *Mikro- og lokalmeteorologi. Det atmosfæriske miljø på liten skala*. Bergen: Alma Mater Forlag.
- Utaaker, K. (1998). *Carl Ludvig Schreiner Godske (1906–1970)*. Forelesning holdt ved Matematisk institutt, Universitetet i Bergen 3.12.1997. Department of Applied Mathematics report no. 117.
- Vaugan, D., Döscher, R., Koszalka, I.M., Bates, N. & Otto-Bliesner, B. (2017). *Evaluation Report, Bjerknnes Center for Climate Research (BCCR)*. Hentet fra <https://www.forskningsradet.no/en/about-the-research-council/publications/2017/evaluation-report-bjerknnes-centre-for-climate-research/>
- Vollset, M. (2015). Asking too much? Postwar climate research in Norway, 1947–1961. *History of Meteorology*, 7, 83–97.
- Vollset, M., Ellingsen, G. & Hornnes, R. (2018). *Calculating the world: The history of geophysics as seen from Bergen*. Bergen: Fagbokforlaget.
- World Meteorological Organization (1988). *WMO/UNEP Intergovernmental Panel on Climate Change. Report of the first session, Geneva 9.–11. November 1988*. IPCC-1, TD-No. 267. Geneva: World Meteorological Organization.