

Klima, Kold Krig og Iskerner

En historie om baggrunden for dansk iskerneforskning
og den første internationale dybdeboring i Grønland

Forfatter:

Maiken Lolck

Vestre Ringgade 222, 2. th.

8000 Århus C

ivbml@ivb.au.dk

Vejleder:

Henry Nielsen

Afdeling for Videnskabshistorie

Steno Institutet, Aarhus Universitet

ivhbn@ivb.au.dk

Speciale ved Afdeling for Videnskabshistorie, Steno Institutet, Aarhus Universitet, sept. 2004.

Indholdsfortegnelse

Forord.....	4
Kapitel 1. Demarkation og historiografisk metode	8
1.1 Demarkation.....	11
1.1.1 Hvad er iskerneforskning?	13
1.1.2 Iskerneforskningens udvikling i store træk.....	14
1.2 Historiografisk metode	17
1.2.1 Nationalt studie.....	17
1.2.2 Specialet opbygning og metodisk tilgang.....	20
1.2.3 Kontekstuel historie	21
1.2.4 Biografisk metode.....	23
1.2.5 Big Science.....	25
1.2.6 Videnskaben	26
1.3 Teser	27
1.4 Litteratur og kilder.....	29
Kapitel 2. Brydningstid for geovidenskaberne	31
2.1 Dansk klimaforskning før 1950.....	34
2.2 Tidlig klimadebat	37
2.3 Institutionalisering af de geofysiske videnskaber i Danmark	43
2.3.1 Meteorologi	43
2.3.2 Geofysik	52
2.4 Nye metoder i geofysikken.....	56
2.4.1 Kulstof-14 datering	56
2.4.2 Massespektroskopi og stabile isotoper.....	59
2.4.3 Bestemmelse af palæotemperaturer	62
2.5 Opsamling.....	67

Kapitel 3. Fra biofysik til Indlandsisens bund	69
3.1 Grønland 1947-48	70
3.2 Meteorologisk Institut	74
3.3 Tilbage til biofysikken – for en stund	76
3.4 Dansgaards isotopforskning	78
3.5 Ophold i USA 1953-54.....	83
3.6 Analyser af is!	85
3.7 Kontakten til USA.....	88
3.8 Iceworm	91
3.9 Amerikanske iskerneanalyser	94
3.10 Camp Century-kernen	98
3.11 Resultater fra Camp Century-kernen	102
Kapitel 4. Iskerneforskning som Big Science	107
4.1 Opbygningen af et internationalt samarbejde	110
4.2 Studier af Indlandsisens og oprettelsen af GISP.....	115
4.3 Økonomi og logistik	119
4.4 Teknologi.....	130
4.4.1 Et nyt shallowbor	130
4.4.2 Et nyt dybdebor.....	134
4.4.3 Andre instrumenter.....	141
4.5 Resultater fra Dye 3.....	145
Kapitel 5. Konklusion	150
5.1 Opfølgning på teser.....	150
5.2 Videre studier	155
Utrykte kilder	157
Bibliografi.....	158

Forord

Min interesse for klimaforskning blev første gang vakt, da jeg i foråret 2000 fulgte kurset ”Energi og Klima” i forbindelse med mit 1. dels studie i fysik. Kurset omhandlede, hvordan fysiske metoder kan anvendes til at få indsigt i Jordens klimasystem og energikilder, men det blev hurtigt klart, at emnets videnskabelige aspekter ikke kunne betragtes uafhængigt af den samfundsmæssige kontekst: Først og fremmest har klimaændringer gennem tiderne påvirket de forhold, som civilisationen har udviklet sig under; således var det f.eks. en periode med relativt varmt klima i den tidlige middelalder, der gjorde det muligt for Nordboerne at kolonisere Grønland, og ligeledes var det en kold periode, ”Den Lille Istid”, der nogle århundreder senere medvirkede til, at Nordboerne på Grønland uddøde. Dernæst spiller klimaændringerne også i dag en betydelig rolle i samfundsdebatten. Gennem de seneste godt hundrede år er den globale middeltemperatur steget ca. 0,6 °C, hvilket har forårsaget ændrede vejrmonstre over hele kloden, og opvarmningen har derigennem påvirket bl.a. landbrug og fiskeri. Hvis denne udvikling fortsætter, kan det få drastiske konsekvenser. Politisk handling er derfor nødvendig både med henblik på at støtte forskningen i klimaet, så vi kan få større indsigt i, hvordan klimaet vil udvikle sig fremover, og med henblik på tilpasning til eventuelle fortsatte klimaforandringer.

Integrationen af videnskab og samfundsdebat på klimaområdet tiltalte mig, og jeg valgte derfor at skrive mit bachelorprojekt inden for dette område. I sommeren 2000 var jeg en måned hos Henrik Svensmark på Dansk Rumforskningsinstitut, hvor jeg arbejdede med den af Svensmark fremsatte teori om, at ændringer i Solens magnetfelt gennem indirekte mekanismer kan forårsage ændringer i Jordens skydække og dermed påvirke klimaet. I mit bachelorprojekt foretog jeg dels et teoretisk studie af, hvordan skyer dannes i atmosfæren, og dels et eksperimentelt studie, hvor jeg byggede et små-skala eksperiment, der skulle illustrere elementer af et større eksperiment, der siden hen er blevet bygget, og som har til formål at simulere skydannelse ved atmosfæriske forhold. Jeg beskæftigede mig således

udelukkende videnskabeligt med en af de mekanismer, der har indflydelse på klimaet, men jeg kunne samtidig konstatere, at Svensmarks teori, i højere grad end andre teorier om klimaændringernes årsager, bliver betragtet som meget kontroversiel. Dette undrede mig, da jeg i mit samarbejde med Henrik Svensmark kunne konstatere, at hans arbejde lever op til kriterierne for god videnskab; hans resultater er blevet publiceret i peer-reviewed tidsskrifter, og det eksperimentelle arbejde, jeg bl.a. var involveret i, sigter mod at påvise og reproducere de mekanismer, som ifølge teorien er ansvarlige for koblingen mellem Solens magnetiske aktivitet og Jordens klima. Årsagen til den offentlige furor omkring teorien måtte derfor skyldes noget, der var eksternt for videnskaben.

Den vigtigste grund til, at Svensmarks teori bliver betragtet som kontroversiel, er, at den ofte sættes i kontrast til drivhusteorien, der har domineret den offentlige debat om den globale opvarmning gennem de seneste tyve år. Videnskabeligt set er de to teorier ikke i modstrid med hinanden, men da Svensmarks teori tilskriver klimaændringerne en *naturlig* effekt, hvorimod drivhusteorien udtaler sig om den *menneskelige* aktivitetens indflydelse på klimaet, afhænger den politiske reaktion på klimaændringerne i høj grad af hvilken mekanisme, der anses som hovedansvarlig for den globale opvarmning. Fordi klimasystemet er uhyre komplekst, ligger en videnskabelig afgørelse af hvilke mekanismer, der styrer klimaet, og hvordan klimaet vil udvikle sig fremover, sandsynligvis stadig flere år eller årtier ude i fremtiden, men da fortsatte klimaændringer kan have store konsekvenser, må den politiske handling ske allerede i dag. På grund af de samfundsøkonomiske konsekvenser af klimapolitikken, er det vigtigt at forstå samspillet mellem forskningen i klimaet og den offentlige debat om klimaændringer. Historiske studier af klimaforskningen og den videnskabelige og samfundsmæssige sammenhæng, som forskningen har indgået i, vil give en større forståelse af mekanismerne i dette samspil.

I nærværende speciale har jeg valgt at se nærmere på den historiske udvikling af iskerneforskningen, der internationalt set har haft stor betydning for vores forståelse af klimaet, og hvor danske forskere har spillet en afgørende rolle.

Specielearbejdet har været støttet af et stipendium fra Oticon, hvilket har givet mig mulighed for at arbejde koncentreret. Støtten har også finansieret adskillige rejser til København, hvor jeg har besøgt centrale personer og relevante arkiver. Oticon-stipendiet har endvidere givet mig mulighed for at deltage i to konferencer i løbet af specialeåret. I januar 2004 deltog jeg i British Society for the History of Science Postgraduate Conference i Manchester. Ved International Commission on the History of Meteorology's konference i Polling, Tyskland i juni 2004 fremlagde jeg de foreløbige resultater af mit specialearbejde. Begge konferencer gav mulighed for at afprøve mine idéer og resultater, og særligt konferencen i Polling var givende, da jeg her fik lejlighed til at diskutere mit projekt med andre historikere inden for geovidenskaberne. Tak til Oticon for denne støtte.

En stor tak til min vejleder Henry Nielsen, der har støttet projektet fra starten, selvom mine tidlige idéer pegede i mange retninger. Især tak for hans hjælp og inspiration til at samle og strukturere de mange idéer til et sammenhængende og velafgrænset projekt.

En stor tak også til Henrik Svensmark for at have inspireret min interesse for klimaforskning og for hans og Nigel Marsh's gæstfrihed på Dansk Rumforsknings Institut. Denne gæstfrihed har givet mig mulighed for at foretage en del af mit specialearbejde i de smukke rammer i Rockefellerkomplekset, hvor også iskerneforskningen blev grundlagt.

Til de ansatte i glaciologigruppen ved Geofysisk Afdeling, Københavns Universitet skal lyde en stor tak for deres interesse for mit projekt. Særlig tak til Henrik Clausen, Sigfus Johnsen og Claus Hammer for deres bidrag gennem interviews og diskussioner. Særsdilt tak til Henrik Clausen, der har stillet en stor mængde kilder til min rådighed, og tak til Sigfus Johnsen for flere af fotografierne, der er anvendt i specialet.

Sidst men bestemt ikke mindst retter jeg en stor tak til Willi Dansgaard, hvis personlige dokumenter danner en stor del af grundlaget for specialet. Tak for konstruktiv kritik på hele specialet, hvilket har hjulpet til at afværge de største

misforståelser. Desuden tak til Willi Dansgaard for gode diskussioner om iskerneforskningens historie – diskussioner der gjorde den spændende historie endnu mere levende for mig.

Maiken Lolck

Århus, 2. september 2004.



Figur 1. Willi Dansgaard registrerer en netop udboret iskerne.

Kapitel 1. Demarkation og historiografisk metode

I takt med, at den offentlige opmærksomhed omkring de klimaændringer, der har fundet sted inden for det seneste århundrede, er steget, er også historikernes interesse for klimaforskningens og klimadebattens historie vokset betydeligt. Siden slutningen af 1990'erne er der udkommet tre monografier – alle af amerikanske videnskabshistorikere – om forskellige aspekter af klimaforskningens historie samt et antal mindre studier af klimaforskningens udvikling. De tre monografier, der var min indgangsvinkel til historiske studier af klimaforskningen, er hhv. *Historical Perspectives on Climate Change* af James Fleming, *The Discovery of Global Warming* af Spencer Weart, der er leder af Center for History of Physics ved American Institute of Physics, og *Greenhouse, The 200-year story of global warming* af Gale Christianson.¹

De tre studier er meget forskellige både i deres temporale afgrænsning og i deres valg af fokus. I *Historical Perspectives on Climate Change* ser James Fleming i bogens første del på udviklingen i den populære opfattelse af klimaændringer siden oplysningstiden. Især fokuserer han på forståelsen af samspillet mellem klimaændringer og civilisationens udvikling. Op gennem 1700- og 1800-tallet var opfattelsen af klimaændringer i stor grad påvirket af myter og sjældent begrundet i videnskabelige observationer. Fleming beskriver, hvorledes klimatologien efterhånden blev videnskabeligt forankret, og hvordan denne udvikling kulminerede med institutionaliseringen af meteorologien i de fleste vestlige lande i anden halvdel af 1800-tallet. I bogens anden del gennemgår Fleming i store træk udviklingen af teorien om drivhusgassers indflydelse på klimaet. Denne teori har rødder tilbage til 1820'erne, hvor Joseph Fourier var den første til at identificere drivhuseffekten, uden at han dog brugte denne betegnelse: "... heat in the state of light finds less resistance in penetrating the air, than repassing into the air when converted into non-luminous heat."² Fourier opstillede ikke kvantitative formler for denne effekt –

¹ Fleming (1998), Weart (2003) og Christianson (1999).

² Fleming (1998), p. 61.

dette blev først gjort i 1860'erne, da den engelske fysiker og geolog John Tyndall foretog laboratoriestudier af en række gasarters strålingsegenskaber. Tyndalls studier dannede 30 år senere en del af grundlaget for den svenske kemiker Svante Arrhenius' beregninger af konsekvenserne af en ændret CO₂-koncentration i atmosfæren. Motivationen bag Arrhenius' studier var – som det var tilfældet for næsten alle klimastudier i 1800-tallet – ønsket om at forklare istiderne. Arrhenius' relativt simple beregninger viste, at mindre ændringer i atmosfærens CO₂-koncentration kunne forårsage betydelige temperaturændringer og dermed forklare istiderne, men hans beregninger viste også, at den menneskelige udledning af CO₂ som følge af industrialiseringen kunne medføre flere graders opvarmning. Gennem første halvdel af det 20. århundrede fik den såkaldte "hot-house"-teori (der senere er omdøbt til "greenhouse"- eller "drivhus"-teorien) ikke megen opmærksomhed, men Fleming beskriver i sin bog, hvordan teorien igen blev taget op i 1950'erne, da nye studier viste, at den globale temperatur var steget op gennem århundredets første halvdel, og da nye metoder muliggjorde direkte målinger af atmosfærens CO₂-indhold.³ Flemings redegørelse går op til det Internationale Geofysiske År 1957-58 og medtager derfor kun starten på den moderne debat om og forskning i de nuværende klimaændringer.

Spencer Wearts bog, *The Discovery of Global Warming*, bygger på et omfattende studie af videnskabelige artikler primært fra anden halvdel af det 20. århundrede. Studiet findes i to versioner; den ene version består af række essays, der kun er publiceret på Internettet⁴, mens den udgivne bog er en komprimeret og omskrevet udgave af disse essays. I modsætning til Fleming, der i sin redegørelse for klimaforskningen efter 1850 næsten udelukkende ser på udviklingen af drivhusteorien, arbejder Weart med en meget bredere definition af klimaforskning,

³ Grunden til, at drivhusteorien ikke fik megen opmærksomhed i århundredets første halvdel, var, at spektroskopiske målinger havde vist, at kuldioxid i atmosfæren var mættet mht. absorption. Disse målinger blev tilbagevist omkring 1950, da mere præcise spektroskopiske målinger viste, at kuldioxid i den øvre del af atmosfæren ikke var mættet (Ibid.,p. 121)

⁴ Weart (2001).

der inkluderer elementer fra bl.a. geologi, geofysik og –kemi, meteorologi, palæontologi, oceanografi, datalogi og astronomi. Derudover ser Weart fortrinsvis på udviklingen efter 1950 både inden for den videnskabelige forskning og inden for den offentlige debat om klimaændringerne. Som titlen på Wearts bog antyder, tager Weart sit udgangspunkt i vores nutidige viden om den globale opvarmning og den udbredte konsensus omkring menneskeligt udledte drivhusgassers indflydelse på klimaet. I sit afsluttende kapitel ”The discovery confirmed” citerer Weart konklusionen fra FN’s Klimapanel 1995-rapport: ”The balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate”.⁵ Således er Wearts bog i stor udstrækning en historie om, *hvordan* vi kom frem til denne konklusion.

I den tredje bog, *Greenhouse, The 200-year story of global warming*, er det – i modsætning til i de to andre bøger – tydeligt, at Christianson skriver ud fra det standpunkt, at vi i dag ved, at industrialiseringen og den deraf følgende øgede udledning af drivhusgasser har forårsaget den globale opvarmning. Christiansons historie er derfor også en noget anden end Flemings og Wearts, selvom han næsten dækker samme periode som de to andre tilsammen. I en næsten skønlitterær form sammenvæver Christianson industrialiseringens historie og den medfølgende forurening med udviklingen inden for klimavidenskaberne og indikerer derved en kausal sammenhæng mellem den industrielle udvikling og klimaforandringerne i det 20. århundrede. Hermed bliver Christiansons bog nærmere et indlæg i den moderne debat om klimaændringernes årsager end et historisk studie af klimaændringernes og klimavidenskabernes historie.

Min hensigt med et historisk studie af klimaforskningen er bl.a. at få en større forståelse af, hvorfor nogle teorier for klimaændringernes årsager bliver mere dominerende i både den videnskabelige og den offentlige debat end andre. Ud fra de korte resuméer af tidligere studier af klimaforskningens historie, der her er givet, mener jeg, at det er tydeligt, at f.eks. et studie som Christiansons ikke bidrager til at

⁵ Weart (2003), p. 172.

besvare dette spørgsmål, da han har draget konklusionen på forhånd; han mener, at grunden til drivhusteoriens dominans er, at den er rigtig. Selvom både Fleming og Weart er langt mere saglige i deres fremstilling, mener jeg, at de begge til dels skriver samme anakronistiske historie som Christianson. Flemings redegørelse for klimaforskningens udvikling efter 1850 fokuserer ensidigt på de videnskabelige bidrag, der har haft indflydelse på udviklingen af drivhusteorien. I bogens afsluttende kapitel sætter Fleming sit studie i relation til den moderne debat om global opvarmning og indikerer herved, at hans studie skal ses som et historisk perspektiv på den moderne diskussion – han mangler dog at gøre klart, at det kun er ét aspekt af den videnskabelige udvikling, han har redegjort for.

1.1 Demarkation

For at få en forståelse af de eksterne faktorer, der også i dag påvirker både forskningen i og den offentlige debat om klimaændringer, er det nødvendigt med historiske studier, der ikke tager udgangspunkt i den nuværende debat, men derimod betragter den klimarelaterede forskning i sin historiske sammenhæng. Min oprindelige vision med dette speciale var derfor at gennemføre et bredt studie af klimaforskningen, hvor alle de forskellige videnskabsgrene, der har bidraget til vores forståelse af klimaet, og samspillet mellem disse grene, skulle studeres. For at afgrænse emnet valgte jeg desuden udelukkende at se på forskningen i Danmark i perioden efter 1950.

Da jeg begyndte at undersøge, hvad der har været af klimaforskning i Danmark, blev det hurtigt klart, at det er meget svært at afgrænse og definere, hvad der menes med klimaforskning. F.eks. har både botanisk og geologisk forskning bidraget til vores forståelse af klimasystemet, men denne klimaforskning har samtidig udgjort så lille en del af den samlede botaniske og geologiske forskning, at de involverede videnskabsfolk ikke vil betegne sig selv som klimaforskere. Derudover har den geologiske forskning beskæftiget sig med klimaændringer over meget lange tidsskalaer – flere tusinde eller millioner år – og derfor er geologiske resultater sjældent blevet sat i relation til de nuværende klimaforandringer. Et andet eksempel

på, at det er problematisk at definere, hvad der menes med klimaforskning, findes inden for meteorologien. Siden starten af 1950'erne udvikledes numeriske computermodeller, der kunne anvendes til både almindelig vejrforudsigelse og til klimasimulering. De såkaldte klimamodeller har internationalt haft stor betydning for vores forståelse af klimasystemet, men selvom man i Danmark har brugt computermodeller til vejrforudsigelse, har man først op i 1990'erne anvendt computermodeller til at simulere ændringer i klimaet. Man kan derfor argumentere for, at man i et studie af den danske klimaforskning ikke skal se på den teoretisk-meteorologiske forskning, da danske meteorologer ikke har anvendt computermodellerne til klimasimulering, men på den anden side kan en undersøgelse af, hvorfor dette område ikke er blevet opdyrket her i landet, sige noget om klimaforskningens organisering i Danmark. Et sådant fyldestgørende studie af klimaforskningen i Danmark, der inkluderer både geologisk, botanisk, meteorologisk og geofysisk og –kemisk forskning, viste sig dog at være alt for omfattende til at dække i et speciale.

Snarere end at følge den oprindelige intention om at skrive et speciale, der skulle gøre op med de tidligere, forholdsvis ensidige historier om klimaforskningens udvikling, har jeg valgt at fokusere på et område af klimaforskningen, der ikke tidligere i særlig stor udstrækning har haft historikeres bevågenhed, og som derfor vil supplere de hidtil skrevne historier. Jeg har valgt at studere iskerneforskningen, der både set ud fra en dansk kontekst, men også internationalt har været et af de mest banebrydende forskningsprojekter på klimaområdet. Både temporalt og institutionelt er det let at afgrænse den danske iskerneforskning: Det teoretiske grundlag for klimatiske studier af iskerner blev etableret af den danske fysiker Willi Dansgaard i starten af 1950'erne, og op gennem 1950'erne og 1960'erne opbyggedes en gruppe omkring Dansgaard, der aldrig har bestået af mere end femseks fastansatte forskere. Denne gruppe har gennem tiden haft et nært samarbejde med mange udenlandske forskere, men det er den danske gruppes rolle i den internationale iskerneforskning, der er det centrale fokus i dette speciale.

1.1.1 Hvad er iskerneforskning?

Iskerneforskningen har i de lande, hvor den er blevet dyrket, haft mange forskellige udgangspunkter, men fagligt må den betegnes som et underområde af geofysikken. Centralt i iskerneforskningen er fysiske og kemiske analyser af iskerner udboret af enten den grønlandske indlandsis, isen på Antarktis eller af isen i de gletschere, der findes rundt omkring i Jordens bjergegne. Da nedbør aflejres år for år på Indlandsisen, udgør Indlandsisen et kronologisk arkiv over nedbøren tilbage i tiden. Den fysisk-kemiske sammensætning af isen kan give information om bl.a. temperaturen og atmosfærens sammensætning tilbage i tiden. Derudover indeholder isen støv, der kan være ført fra andre kontinenter til Grønland med de store vindsystemer. Også vulkansk støv fra større udbrud aflejres på isen. Efterhånden som ny sne aflejres på Indlandsisen synker de underliggende lag ned, men kronologien er fortsat relativt uforstyrret. Ved at undersøge støvindholdet i iskerner kan man derfor også se ændringer i vindsystemer og vulkanudbrud, som har fundet sted flere tusinde år tilbage.



Figur 2. En netop udboret iskerne ligger klar til de første analyser.

Både hvad angår videnskabelig metode og faglig organisering hører iskerneforskningen i stor udstrækning under glaciologien, selvom der i studiet af iskerner også anvendes metoder fra andre discipliner. Op gennem 1960'erne og 1970'erne opbyggedes et netværk af forskere, der beskæftigede sig med fysiske og klimatologiske undersøgelser af iskerner, og der blev afholdt flere glaciologiske konferencer med fokus på iskerneforskning. Ud over den videnskabelige analyse af iskerneerne er selve ekspeditionerne, hvor kernerne udbores, et vigtigt element i iskerneforskningen. Fremskaffelsen af iskerner er en stor både økonomisk og teknologisk udfordring, og en betydelig del af iskerneforskningen er derfor koncentreret omkring udviklingen af teknologi som f.eks. iskernebor, der kan bore ned gennem den op til tre kilometer tykke Indlandsis. De praktiske omstændigheder ved iskerneforskningen har afholdt den fra at sprede sig til meget mere end en håndfuld grupper verden over, selvom resultaterne af iskerneanalyserne anvendes i mange studier af Jordens klimasystem.

Baggrunden for klimatologiske studier af iskerner i Danmark og danske forskeres deltagelse i international iskerneforskning er fokus for dette speciale.

1.1.2 Iskerneforskningens udvikling i store træk

Inden jeg vil redegøre nærmere for min metodiske tilgang til den danske iskerneforsknings historie, vil det være nyttigt med et overblik over de store træk i iskerneforskningens udvikling:

Udgangspunktet for klimatiske studier af iskerner var nogle studier af den isotopiske sammensætning af nedbør, som Willi Dansgaard påbegyndte i 1952. Dansgaard påviste, at der er en sammenhæng mellem nedbørens isotopsammensætning og temperaturen, hvorved nedbøren var kondenseret, og han opstillede en kvantitativ sammenhæng mellem disse størrelser.⁶ Allerede et par år efter foreslog

⁶ Dansgaard (1953). Det var det relative indhold af de to iltisotoper ¹⁶O og ¹⁸O i vandmolekyler, Dansgaard studerede. Mere præcist afhænger den isotopiske sammensætning af nedbøren af vanddampens afkøling siden mætning, men hvis mætningstemperaturen antages som konstant, er der en sammenhæng med kondensationstemperaturen.

Dansgaard første gang, at isotopstudier af den grønlandske indlandsis, hvor nedbøren aflejres år for år, kunne anvendes til at bestemme lufttemperaturen tilbage i tiden.⁷ Disse tidlige studier markerer specialets nedre tidslige afgrænsning. Op gennem 1950'erne og 1960'erne fortsatte Dansgaard sine nedbørsstudier, og han fik også flere gange mulighed for at rejse til Grønland og undersøge den grønlandske is.

Den første udboring af en iskerne til Indlandsisens bund blev fuldført i 1966 af et amerikansk forskerhold ved den amerikanske militærlejr, Camp Century, på Indlandsisen nær Thulebasen. Isotopanalysen af denne kerne blev foretaget af Willi Dansgaards gruppe i København og resulterede i den første rekonstruktion af temperaturvariationerne i Grønland over 120.000 år tilbage i tiden. Analyserne af Camp Century-kernen demonstrerede, at det var muligt at anvende isotopmetoden til at bestemme temperaturerne tilbage i tiden, og resultaterne af de første analyser var interessante og lovende. Derfor begyndte man i starten af 1970'erne at planlægge udboringen af en ny dybdekerne. Der etableredes et samarbejde mellem danske, schweiziske og amerikanske forskere, det såkaldte GISP-samarbejde (Greenland Ice Sheet Project), der op gennem 1970'erne stod for boringen af en række "shallowkerner" (kortere kerner, der ikke gik ned til det underliggende fjeld), og som kulminerede med boringen af en dybdekerne på 2038 meter ved den amerikanske radarstation Dye 3 på den sydlige del af Indlandsisen. Denne dybdeboring blev afsluttet i august 1981, og markerer specialets øvre tidslige afgrænsning.

Efter boringen ved Dye 3 var det alles ønske, at der skulle laves en ny boring længere inde på Indlandsisen. I 1980'erne blev det europæisk-amerikanske samarbejde dog brudt og i stedet for boringen af én kerne påbegyndtes i 1988 og 1989 boringen af hhv. en europæisk kerne (GRIP-projektet) og en amerikansk kerne (GISP2-projektet). Den europæiske kerne blev udboret på Indlandsisens højeste punkt, Summit, og den amerikanske 30 km derfra. Den amerikanske boring

⁷ Dansgaard (1954b).

er siden blevet skildret i to bøger af et par af de forskere, der deltog.⁸ Senest har et europæisk samarbejde med dansk ledelse stået for boringen af en kerne i det nordlige Grønland (NGRIP-projektet), og der er fortsat planer om nye iskerneboringer. Gennem hele perioden har der endvidere været adskillige iskerneboringer i Antarktis. I den periode, som bliver behandlet i dette speciale – perioden fra 1952-1982 – er det kun den første antarktiske kerne, Byrd-kernen, der blev udboret i 1968, som danske forskere i større udstrækning var involveret i. Danske forskere deltog ikke i planlægningen eller udførelsen af denne boring, men isotopanalysen blev foretaget i laboratoriet i København.



Figur 3. NGRIP-lejren, hvor en iskerneboring blev gennemført i perioden fra 1999-2003

⁸ Alley (2000) og Mayewski *et al.* (2002).

1.2 Historiografisk metode

Hensigten med dette speciale er at give en almen interessant fremstilling af den danske iskerneforsknings udvikling, og det er derfor *historien* frem for den metodiske tilgang, der er det centrale. Det er ikke intentionen at bruge iskerneforskningen til at illustrere en bestemt metodisk tilgang eller en videnskabs-teoretisk model. I stedet har jeg på baggrund af mit foreløbige indtryk af iskerneforskningens historie udvalgt et sæt metoder, som vil tjene til at fremhæve de vigtigste elementer af udviklingen. Således vil jeg i redegørelsen for den historiografiske metode med konkrete eksempler illustrere, hvordan metoden kan anvendes i relation til et historisk studie af den danske iskerneforskning. Endvidere vil den metodiske tilgang sjældent fremgå eksplicit af hovedteksten, da den netop bliver anvendt som strukturerende redskab.

1.2.1 Nationalt studie

Som nævnt blev det teoretiske grundlag for klimastudier baseret på iskerner etableret i starten af 1950'erne af den danske fysiker Willi Dansgaard. På dette tidspunkt havde Dansgaard ikke mulighed for at føre sine idéer om studier af den grønlandske indlandsis ud i livet, og det blev derfor andre, der kom til at foretage de første iskerneboringer. Op gennem 1960'erne etableredes forskningsgrupper i Danmark, Schweiz og USA, der specialiserede sig i studiet af grønlandske iskerner. Senere kom bl.a. franske, britiske og sovjetiske forskere til, men de studerede dog primært kerner fra Antarktis. Når jeg i dette speciale har valgt at fremhæve den danske forskningsgruppe i stedet for at undersøge den internationale iskerneforskning, har det flere årsager.

For det første har danske forskeres bidrag til den internationale iskerneforskning været betydelige: Det teoretiske grundlag for rekonstruktion af temperaturer ud fra iskernestudier blev etableret af Willi Dansgaard, og helt frem til 1980'erne var det kun i Danmark, at systematiske isotopanalyser af iskerner blev foretaget. At den danske forskningsindsats har været central for iskerneforskningens resultater ses desuden ved, at Willi Dansgaard i 1995 og 1996 modtog hhv. den amerikanske

Tylerpris og den svenske Crafoordpris for udviklingen af metoden til bestemmelse af fortidens temperaturvariationer. Crafoordprisen er oprettet som en pendant til Nobelprisen inden for bl.a. geofysik, og Dansgaard har således modtaget en af de største internationale anerkendelser for sit arbejde. En citationsanalyse af Dansgaards publikationer understreger endvidere betydningen af hans arbejde: I 1964 publicerede Dansgaard artiklen ”Stable Isotopes in Precipitation”⁹ i det geofysiske tidsskrift *Tellus*, hvori han samlede de foregående ti års undersøgelser af den isotopiske sammensætning af nedbør og opstillede kvantitative sammenhænge for, hvordan analyser af isotopsammensætningen af nedbør kan anvendes til at bestemme middellufttemperaturen i et givent område. Denne artikel er siden hen blevet citeret over 1200 gange og har dannet grundlag både for iskernestudier og for megen anden hydrodynamisk forskning. Ved flere universiteter i USA er artiklen tilmed blevet anvendt i undervisningen i geofysik.¹⁰

Den anden grund til, at jeg har valgt at koncentrere mit studie omkring den danske iskerneforskning, er, at jeg ved denne begrænsning i stedet får plads til og mulighed for at sætte iskerneforskningen i relation til udviklingen inden for andre grene af dansk klimaforskning. Bl.a. ønsker jeg at se på Willi Dansgaards tidligste regnvandsundersøgelser i starten af 1950’erne og sætte dem i relation til den generelle udvikling inden for de geofysiske videnskaber i denne periode. Efter anden verdenskrig oplevede naturvidenskaben i almindelighed og de geofysiske videnskaber i særdeleshed en kraftig fremgang, og i Danmark resulterede nogle specielle politiske og institutionelle forhold i, at en række geofysiske fag blev institutionaliseret i 1950’erne. I hele perioden – fra starten af 1950’erne til starten af 1980’erne – har der i større eller mindre udstrækning været en offentlig og politisk debat om klimaændringer og deres konsekvenser. Hvad denne debat har betydet for iskerneforskningen, ønsker jeg også at se nærmere på. Et sådant kontekstuel studie

⁹ Dansgaard (1964).

¹⁰ Dansgaard (2000), p. 118.

af iskerneforskningen er kun muligt inden for rammerne af et speciale, når jeg samtidig begrænser mig til Danmark.

Fordelene ved et nationalt studie af iskerneforskningen er, at det bliver muligt at se nærmere på omstændighederne for forskningen og den faglige og politiske sammenhæng, som forskningen er indgået i. Samtidig er der dog også ulemper ved at vælge den nationale tilgang. Først og fremmest må man gøre sig klart, at det bliver et partikulært studie, hvis konklusioner ikke nødvendigvis kan overføres på udviklingen i andre lande. Særligt inden for iskerneforskningen er denne problematik tydelig, da motivationen for forskningen har været meget forskellig i de lande, hvor den har været dyrket. I Danmark var det således en enkelt mands videnskabelige idé, der var udgangspunktet for studiet af iskerner, mens den amerikanske iskerneforskning i høj grad var militært motiveret. Da iskerneforskningen har været udført i et internationalt samarbejde, vil jeg – på trods af mit udgangspunkt i den danske forskning – også se nærmere på de udenlandske aktører. En stor del af iskerneforskningen har endvidere været finansieret fra amerikansk side, og derved spillede de amerikanske interesser i forskningen også en afgørende rolle for vilkårene for de danske iskerneforskere.

Den amerikanske deltagelse i de internationale iskerneboringer har været af stor betydning især i økonomisk og teknologisk henseende, da amerikanerne har været de eneste, der har haft både de økonomiske og teknologiske midler til gennemførelsen af iskerneboringer til Indlandsisens bund. Inden for de senere år er der udkommet to bøger om den amerikanske iskerneforskning.¹¹ Begge bøger tager udgangspunkt i den amerikanske GISP2 boring omkring 1990 og er skrevet af to af de deltagende forskere. Fælles for dem er endvidere, at de har mere karakter af videnskabsformidling end af historiske redegørelser. Bøgernes formidlende funktion tjener et godt formål, men udover at være uhistoriske – da de ser isoleret på den ene boring, og ikke sætter den ind i en forskningshistorisk sammenhæng – så er de til tider også direkte ahistoriske. Dette kommer bl.a. til udtryk i deres

¹¹ Alley (2000) og Mayewski *et al.* (2002).

beskrivelse af motivationen for boringen: "As the 1980's drew to a close, the scientific community moved towards a consensus that these questions [spørgsmålene om den globale opvarmnings årsager og klimaets videre udvikling] could not be answered without understanding natural climate history. That realization spurred us to consider how we could create a long record of natural climate – and that led us to begin our planning for the GISP2 project."¹²

Her beskrives GISP2-iskerneboringen som næsten udelukkende motiveret ved den bekymring for en fortsat global opvarmning, der voksede frem op gennem 1980'erne. Derved ignorerer forfatterne den næsten 30-årige historie med iskerneboringer, der gik forud for den amerikanske boring omkring 1990. Dette, mener jeg, illustrerer behovet for studier, der både ser på iskerneforskningens historiske udvikling, og ser på andre nationers bidrag til iskerneforskningen – deriblandt det danske – hvilket naturligt nok ikke fylder meget i de amerikanske skildringer.

Ud over, at der således mangler historiske redegørelser for udviklingen af den danske iskerneforskning, er der tillige mange praktiske fordele ved at koncentrere et speciale som dette om den danske forskergruppe. De fleste af de forskere, der har været involveret i den danske iskerneforskning, er stadig i live, og det er derfor muligt delvist at basere specialet på interviews med disse aktører. Skriftlige kilder er også forholdsvis let tilgængelige og forefindes i hvert fald inden for landets grænser.

1.2.2 Specialet opbygning og metodisk tilgang

Hovedparten af specialet falder i tre dele: Første del omhandler de geofysiske videnskaber i Danmark omkring 1950 og hvilke forhold, der gjorde sig gældende for den geofysiske forskning, som Dansgaards arbejde hørte til. Anden del er biografisk i sin form og ser nærmere på Dansgaards baggrund for at give sig i kast med geofysisk forskning, og hvordan og hvorfor han fik idéen til at anvende grønlandske iskerner til at få viden om fortidens klima. Endvidere ser jeg i denne

¹² Mayewski *et al.* (2002) p. 36.

del på, hvilken betydning Dansgaard som person har haft for udviklingen af den danske iskerneforskning, og hvordan han fik opbygget et netværk til udenlandske forskere, der også beskæftigede sig med studier af den grønlandske indlandsis. Specialets sidste del ser nærmere på omstændighederne for iskerneforskningen; hvordan den har været organiseret, det internationale samarbejde, hvordan den er blevet finansieret og på de teknologiske innovationer, der har været nødvendige for at kunne drive forskning under de ekstreme forhold, der findes på den grønlandske indlandsis.

1.2.3 Kontekstuel historie

Specialets kapitel 2 ser nærmere på dele af den danske klimaforskning, der gik forud for iskerneforskningen og på forholdene for den geofysiske forskning i 1950'erne. Kapitlet er et "setting-the-stage"-kapitel, der har til hensigt at belyse baggrunden for iskerneforskningen.

Videnskabelig forskning kan ikke betragtes som en aktivitet, der foregår uafhængigt af det omgivende samfund og de politiske forhold. Tværtimod er forskningen underlagt politiske og institutionelle prioriteringer, og de generelle politiske forhold er ofte bestemmende for forskningens økonomiske vilkår. Dette gjorde sig i høj grad gældende for den geofysiske forskning i årene efter anden verdenskrig, da den politiske udvikling – bl.a. udviklingen af den kolde krig – begunstigede den geofysiske forskning, der var af stor militær interesse. En fuld forståelse af baggrunden for iskerneforskningen, og hvorfor denne forskning blev støttet, kræver derfor et nærmere studie af de politiske forholds betydning for forskningens organisering omkring 1950. Den metodiske tilgang i kapitel 2 er således kontekstuel.

Som det tidligere har været nævnt, adskiller klimaforskningen sig fra mange andre forskningsområder ved at være genstand for stor offentlig opmærksomhed. Særligt inden for de seneste 50 år, hvor det har været kendt, at en global opvarmning har fundet sted siden det 20. århundredes begyndelse, har klimaændringerne været diskuteret jævnlige i det offentlige rum. En sådan offentlig

opmærksomhed kan have stor betydning både for forskernes valg af forskningsområde og for den politiske støtte til forskningen. Jeg vil derfor se nærmere på dele af den danske debat om klimaændringerne, som den fandt sted omkring 1950. Der er visse praktiske problemer forbundet med at studere den offentlige debat. For det første er det meget omfattende at kortlægge, hvad der har stået i aviserne om klimaændringerne, og der er stor risiko for at overse mange af debatindlæggene. Samtidig kan man ikke entydigt afgrænse, hvad der hører til den offentlige debat. En betydelig del af debatten har fundet sted i populære fagtidsskrifter, der ligger i et grænseområde mellem det offentlige rum og forskningsverdenens videnskabelige tidsskrifter. Jeg har valgt til dels at medtage de populære fagtidsskrifter i studiet af den offentlige debat om klimaændringerne i 1950'erne. Mit studie af den offentlige debat bygger endvidere på de klimarelaterede artikler, der er registreret i *Dansk Aviskronikindeks* i perioden 1947-1952.

I kapitel 2 ser jeg desuden på nogle af de geofysiske videnskabers institutionelle forhold omkring 1950. Ved at studere den institutionelle udvikling kan man - uden at skulle gennemføre et grundigt studie af den bedrevne forskning - få et godt indtryk af, hvilken forskning der var i fokus og i fremgang i perioden. De institutionelle rammer udgør en af grænsefladerne mellem det omgivende samfund og forskningen, hvor de politiske prioriteringer kommer til udtryk. Således vil jeg ved at se på institutionaliseringen af flere geofysiske fag op gennem 1950'erne undersøge, hvordan de politiske forhold i efterkrigstiden fik direkte indflydelse på den geofysiske forskning i Danmark.

Inden for de rammer, der er givet ved bl.a. de institutionelle og økonomiske forhold, er forskningen også et resultat af enkelte videnskabsfolks interesser og evner. Samtidig med, at forholdene for geofysisk forskning var gunstige i efterkrigsårene, var der flere forskere, der rettede sig mod studier af Jordens klimasystem. Den interne videnskabelige udvikling på dette område er en vigtig forhistorie til iskerneforskningen og vil også blive undersøgt nærmere. Risikoen ved en sådan internalistisk tilgang er, at man kan driste sig til at fremstille videnskaben som en jævnt fremadskridende aktivitet, hvor hvert nyt resultat bygger videre på

tidligere. Sjældent udvikler videnskaben sig på en sådan enstrenget vis, og det er heller ikke tilfældet med den geofysiske klimaforskning. Ofte undfanges de samme idéer med korte mellemrum flere forskellige steder, og først senere opbygges netværk, hvor de involverede forskere kan udveksle idéer og resultater.

Da Willi Dansgaard senere fik nære forbindelser til de forskere, hvis forskning var nært beslægtet med hans egen, mener jeg, at det med det forbehold, at forhistorien ikke skal ses som direkte ledende op til Dansgaards arbejde, er interessant at se på den isotopforskning, der gik forud for Dansgaards.

1.2.4 Biografisk metode

Da Willi Dansgaard påbegyndte den isotopforskning, der senere skulle føre til de palæoklimatiske studier af iskerner, arbejdede han alene, og selvom gruppen omkring ham voksede gennem de følgende par årtier, forblev han leder af den danske iskerneforskning frem til sin pensionering i starten af 1990'erne. Willi Dansgaard var i hele denne periode den centrale figur i dansk iskerneforskning, og også internationalt var han en af hovedpersonerne. Personen Willi Dansgaard er genstand for nærmere undersøgelser i kapitel 3.

Det fremhæves ofte som en ulempe ved den biografiske metode, at man risikerer at lægge for stor vægt på den enkelte person og at glorificere eller romantisere personen.¹³ Ved at have én person som centrum for udviklingen, risikerer man at give den person en for fremtrædende rolle, og man vil ofte fremstille denne person som centrum for handlingen uanset, om det er begrundet eller ej. Endvidere skrives biografier oftest med et positivt udgangspunkt over for den centrale person, og man kan have en tilbøjelighed til at skrive hagiografisk historie, hvor hovedpersonen skildres som en helt, der kæmper for sin sag i en verden, der ikke altid har øje for hans genialitet.

I et biografisk kapitel om Willi Dansgaard vil jeg også løbe denne risiko, men netop i tilfældet med den danske iskerneforskning mener jeg, at det er berettiget

¹³ Kragh (1987), p. 168ff.

med et kapitel, der i biografisk form ser på Dansgaards betydning for udviklingen af forskningen. Selvom man skal være sig for hagiografiske tendenser, så er der ingen tvivl om, at Dansgaard som person har haft afgørende indflydelse på udviklingen af iskerneforskningen i Danmark.

De geofysiske studier af regnvands isotopiske sammensætning, som Dansgaard udførte i starten af 1950'erne, lå langt fra det arbejde, han var ansat til på Universitetet. Dansgaard var tilknyttet Universitetets Biofysiske Laboratorium, hvor han skulle indføre den massespektroskopiske metode i medicinske og fysiologiske studier. At Dansgaard i stedet endte med at lave geofysisk forskning, kan til dels forklares ved eksterne forhold, men en nærmere undersøgelse af Dansgaards baggrund kan også belyse, hvorfor netop han – på trods af, at han sad på en biofysisk institution – påbegyndte geofysiske isotopstudier og senere fik idéen til at anvende sine resultater i palæoklimatiske studier af den grønlandske indlandsis. I en biografisk tilgang, hvor jeg ser på, hvad Dansgaard lavede i årene op til sine første isotopstudier og på hans forhold til geofysisk forskning og klimaforskning – forhold der uden en biografisk tilgang ikke vil have noget med iskerneforskningen at gøre – er det muligt at få en større forståelse for Dansgaards motivationer for at give sig i kast med geofysisk klimaforskning.

Op gennem 1950'erne og 1960'erne opbyggede Willi Dansgaard personlige kontakter til flere af de centrale personer inden for den glaciologiske og geofysiske forskning. Nogle af disse personlige netværk kom til at danne kernen i det internationale samarbejde om iskerneboringer i 1970'erne og Dansgaards kontakter var afgørende for den danske gruppes fremtrædende rolle i dette samarbejde.¹⁴ Ved at anvende den biografiske tilgang er det muligt at se nærmere på, hvordan disse personlige forhold blev opbygget og udviklede sig.

¹⁴ I forbindelse med opbygningen af personlige netværk inden for iskerneforskningen kunne det være interessant at foretage et prosopografisk studie af flere af hovedaktørerne. Da kildematerialet i dette speciale i stor udstrækning udgøres af Willi Dansgaards korrespondance, og da jeg ikke har tilsvarende materiale om andre involverede, er en sådan tilgang imidlertid ikke mulig.

1.2.5 Big Science

I kapitel 4 ses der nærmere på omstændighederne for iskerneforskningen. Jeg betragter i dette kapitel iskerneforskningen som et eksempel på *Big Science*, da jeg mener, at iskerneforskningen har mange af de karakteristika, der er kendetegnende for det der i videnskabshistorien betegnes som *Big Science*. Nogle af hovedtrækkende ved Big Science – selvom der ikke kan gives en entydig definition - er, at der som regel er mange forskere involveret; Big Science kan ikke dyrkes af en enkelt eller få forskere i en isoleret gruppe, og Big Science skal ofte forstås økonomisk; der er for det meste store økonomiske omkostninger forbundet med Big Science. Dertil kommer, at Big Science i høj grad benytter sig af avanceret og specialiseret teknologi – et kendetegn, der er nært forbundet med de store økonomiske omkostninger. Alle disse aspekter kan genfindes i iskerneforskningen, og i kapitel 4 vil jeg se nærmere på, hvad disse forhold har betydet for organiseringen og udviklingen af iskerneforskningen.

Der har ikke på noget tidspunkt været voldsomt mange forskere tilknyttet den danske iskerneforskning. I den periode, der ses på i dette speciale, har der højst været fem-seks fastansatte forskere. Når jeg alligevel påpeger, at iskerneforskningen involverer mange forskere, er det fordi, de praktiske omstændigheder ved iskerneforskningen gør, at det ikke har været muligt for den danske gruppe alene at gennemføre de dybe iskerneboringer. Både for at kunne bære den økonomiske og den praktiske byrde har det været nødvendigt med internationalt samarbejde, der har karakteriseret iskerneforskningen siden analyserne af den første dybdekerne – fra Camp Century – i slutningen af 1960'erne.

Både det faktum, at iskernerne skal hentes inde på den grønlandske indlandsis og, at det kræver specialiseret teknologi at bore flere kilometer ned gennem isen og hente de kontinuerte iskerner op til overfladen, medvirker til at øge de økonomiske omkostninger. Dette har betydet, at forskerne i høj grad har måttet søge finansiering fra eksterne fonde, og et studie af de eksterne bevillinger til iskerneforskningen kan bidrage til at få et indblik i motivationen for forskningen og

den offentlige opmærksomhed om både klimaændringerne generelt og iskerneforskningen i særdeleshed, da dette ofte afspejles i fondenes bevillinger.

Teknologien har gennem hele iskerneforskningens historie spillet en meget vigtig rolle. Det har haft stor betydning, at det amerikanske militær har været de eneste, der var i besiddelse af den nødvendige teknologi til at oprette store, permanente lejre på Indlandsisen og transportere mandskab og gods ind til disse lejre. Men også i forbindelse med selve borerne skulle der udvikles ny teknologi. Boret, der blev anvendt ved den første dybdeboring, Camp Century, var amerikansk konstrueret, men da dette gik tabt i Antarktis, skulle der udvikles nye bor til GISP-projektet i 1970'erne. Både danske, schweiziske og amerikanske videnskabsfolk og ingeniører udviklede forskellige typer bor, men det var kun den danske gruppe, der havde succes med at udvikle et nyt dybdebor. I forbindelse med udviklingen af nye bor til GISP-projektet vil jeg se nærmere på de danske forskeres tilgang til denne opgave og sammenligne den med den amerikanske tilgang til samme problem. Afklaringen af, hvorfor det lykkedes at udvikle et dansk bor og ikke et amerikansk, kan sige meget om forskellene i forskningens organisering og økonomiske vilkår i de to lande.

1.2.6 Videnskaben

Den metodiske tilgang, der er skitseret i de foregående afsnit har primært til hensigt at afdække de politiske, sociale og økonomiske omstændigheder, der har været med til at forme iskerneforskningens udvikling. Grunden, til at jeg har valgt så eksternalistisk en tilgang, er, at jeg netop ønsker at undersøge, hvad de eksterne forhold har betydet for klimaforskningen eksemplificeret ved den danske iskerneforskning. Mange af de forhold, der vil blive afdækket, vil selvfølgelig være partikulære for iskerneforskningen, men visse politiske og økonomiske forhold er forbundet med generelle strømninger, der også har haft betydning for andre grene af klimaforskningen. Det er således afdækningen af disse forhold, der er hovedformålet med dette speciale.

Dertil kommer, at iskerneforskningen i Grønland har bidraget med et af de betydeligste indblik i, hvordan klimaet har forandret sig og har varieret siden sidste mellemistid for over 120.000 år siden. De videnskabelige resultater vil også blive præsenteret og diskuteret, og i flere tilfælde spiller de videnskabelige resultater sammen med de andre aspekter af forskningen, som her undersøges. F.eks. var der i 1970'erne en udbredt frygt for, at en ny istid stod for døren, og da iskerneforskningen bl.a. kunne bidrage med oplysninger om afslutningen af sidste mellemistid, fik forskningen ny aktualitet. Den videnskabelige udvikling er således en vigtig del af historien og vil blive behandlet sammen med de andre aspekter af iskerneforskningen.

1.3 Teser

I dette speciale ser jeg på iskerneforskningens udvikling fra Dansgaards første isotopstudier i 1952 til afslutningen af dybdeboringen ved Dye 3 i 1981/82. Der vil dog være store dele af udviklingen, som vil blive udeladt, da det hele ikke kan rummes i et speciale. I stedet har jeg valgt at fokusere på forskellige elementer af udviklingen, sådan som det er skitseret i de metodiske afsnit. Den metodiske tilgang er valgt ud fra et ønske om at fremhæve enkelte klare pointer, der illustrerer de forhold, der har gjort sig gældende for iskerneforskningens udvikling.

Mit foreløbige indtryk af hovedtrækkene i iskerneforskningens udvikling kan samles i fem teser, som jeg ønsker at begrunde eller afkræfte i dette speciale:

1. TESE: At idéen om palæoklimatiske studier af iskerner blev fostret i starten af 1950'erne, var ikke tilfældigt. I Dansgaards isotopstudier og idéer om iskernestudier blev flere af tidens strømninger bundet sammen. Internationalt var de geofysiske fag i denne periode i fremgang både pga. deres militære interesse og som følge af udviklingen af en række nye metoder. Samtidig var der fokus på klimaets forandringer; op gennem 1940'erne og 1950'erne var det blevet klart, at den globale temperatur var steget siden århundredets begyndelse, og i Danmark fik disse klimaændringer særlig stor opmærksomhed. Interessen for klimaændringer og anvendelsen af nye metoder i geofysiske studier blev kombineret i Dansgaards

isotopstudier og hans vision om palæoklimatiske studier af den grønlandske indlandsis.

2. TESE: Willi Dansgaard var afgørende for den succesfulde udvikling af dansk iskerneforskning. Det var i høj grad Dansgaards usædvanlige ihærdighed og originalitet, der bragte hans isotopforskning op på det højeste internationale niveau. Derudover forstod han at udvikle og udnytte sit videnskabelige netværk og derigennem at gøre det danske laboratorium til et af brændpunkterne for den internationale iskerneforskning.

3. TESE: Hvor det økonomiske bidrag fra dansk side til den internationale iskerneforskning i Grønland i 1970'erne var beskedent, så bidrog danskerne til gengæld med videnskabelig ekspertise og teknologisk nytænkning. Det er min tese, at de mere trange økonomiske vilkår for den danske forskning var en del af grunden til den succesfulde udvikling af f.eks. et dybdebor, hvilket ikke var lykkedes for amerikanerne.

4. TESE: Den voksende debat om og frygt for drastiske klimaændringer i 1970'erne var med til at sikre den økonomiske støtte til iskerneforskningen og GISP-projektet. I 1970'erne blev det klart, at den globale middeltemperatur var begyndt at falde siden midten af århundredet, og da flere forskellige studier af klimasystemet indikerede, at klimaet kunne ændre sig hurtigt og pludseligt, fik risikoen for en nært forestående istid stor offentlig opmærksomhed. Da iskernestudierne kunne give detaljeret information om klimaændringernes og særligt om afslutningen af sidste mellemistid, førte den offentlige opmærksomhed til en øget støtte til iskerneforskningen.

5. TESE: Det faktum, at Grønland er dansk suverænitetssområde, havde stor betydning for de danske forskeres muligheder for at blive involveret i de amerikanske iskerneprojekter i Grønland. Hvis Grønland ikke havde været dansk, havde danske forskere næppe fattet samme interesse for polarforskning, og danskere havde heller ikke været nær så interessante samarbejdspartnere for udenlandske forskere.

1.4 Litteratur og kilder

Den hidtil mest omfattende redegørelse for den danske iskerneforskning er Willi Dansgaards selvbiografiske bog *Grønland – i istid og nutid*.¹⁵ Bogen dækker perioden fra Dansgaards embedseksamen i 1947 og til afslutningen af GRIP-boringen i 1992. Den er meget personlig i sin form og skal derfor anvendes som kilde med visse forbehold. Bogen har mange detaljer, og udover den videnskabelige udvikling beskriver Dansgaard også mange af de personlige relationer, han har haft til udenlandske forskere, og han fortæller om forskningens finansiering og mange af de tekniske udfordringer i forbindelse med boringerne. Således har bogen for mig været en vigtig indgangsvinkel til den danske iskerneforskning. Den er også vigtig som kilde både til en række faktuelle oplysninger om iskerneforskningen og til den centrale figur Willi Dansgaards oplevelse af udviklingen.

Specialets andet kapitel, der handler om de geofysiske videnskaber i Danmark i starten af 1950'erne, bygger dels på sekundærkilder såsom jubilæumsbøger fra Meteorologisk Institut og Københavns Universitet og dels på videnskabelige artikler samt en stor mængde arkivmateriale fra Meteorologisk Instituts arkiv ved Rigsarkivet. Derudover ser jeg i dette kapitel på en del af den offentlige debat om klimaændringer, og dette afsnit bygger hovedsagelig på avisartikler registreret i *Dansk Aviskronikindeks* og på en række artikler i *Dansk Fiskeritidende*, der er medlemsbladet for Dansk Fiskeriforening. Artiklerne i *Dansk Fiskeritidende* bliver anvendt som kilde til information om udviklingen af det grønlandske torskefiskeri og *ikke* som et udtryk for den offentlige debat.

Det centrale kildemateriale i kapitel 3 og 4 er arkivmateriale, som er fundet på Geofysisk Afdeling ved Københavns Universitet. Dette arkivmateriale indeholder bl.a. en stor del af Willi Dansgaards korrespondance fra ca. 1960 og frem, bevillingsansøgninger til diverse fonde og forskellige videnskabelige rapporter i relation til GISP-samarbejdet i 1970'erne. Dette arkivmateriale har oprindeligt tilhørt Willi Dansgaard personligt og er først for nylig blevet opmagasineret på

¹⁵ Dansgaard (2000).

Universitetet. Det har således ikke tidligere været genstand for historiske studier udover Willi Dansgaards eget i forbindelse med udarbejdelsen af hans selvbiografiske bog. Som primærkilder til iskerneforskningens udvikling anvendes endvidere videnskabelige artikler og forskellige conferenceproceedings, som jeg har fået adgang til gennem medarbejdere ved Geofysisk Afdeling. Derudover udgør interviews med bl.a. Henrik Brink Clausen, Sigfus Johnsen og Claus Uffe Hammer, der har været tilknyttet iskerneforskningen siden 1960'erne og starten af 1970'erne, en vigtig del af grundlaget for kapitel 3 og 4. Jeg har desuden haft adgang til et interview med Willi Dansgaard fra 1993 foretaget af Finn Aaserud og har også haft personlig kontakt med Dansgaard.

Som sekundærlitteratur om klimaforskningens udvikling og den offentlige debat om klimaændringer i perioden fra 1950 og frem anvendes Spencer Wearts internet-essays.¹⁶ Derudover er forskellige former for historisk sekundærlitteratur anvendt som kilder til den generelle samfunds- og videnskabshistoriske udvikling.

¹⁶ Weart (2001).

Kapitel 2. Brydningstid for geovidenskaberne

En kølig sommerlørdag i slutningen af juni 1952 sad den 29-årige Willi Dansgaard i sit hus i Herlev, og så ud på de drivende regnbyger. Dansgaard var den foregående sommer flyttet ind i det rummelige hus sammen med sin hustru Inge. Til huset hørte en stor have med ”piletræ og tjørnebusk bagved, og hjørnevindue med blomster... rosenbuske der blomstrer, græsplæne som skal slås” som Inge skrev i sin dagbog.¹⁷

Willi Dansgaard arbejdede på Københavns Universitets Biofysiske Laboratorium, hvor han også havde taget sin embedseksamen i fysik fem år tidligere. Det Biofysiske Laboratorium, der var blevet oprettet i 1928 i forbindelse med opførelsen af August Kroghs fysiologiske Rockefeller Institut¹⁸, lå i smukke omgivelser ved Fælledparken og nær det dengang nye Institut for Teoretisk Fysik. Laboratoriet blev ledet af professor i fysik, H. M. Hansen, der tillige siden 1948 havde været rektor for Universitetet.¹⁹ Dansgaard har selv beskrevet Biofysisk Laboratorium som et sted med ”en menneskeligt og fagligt positiv atmosfære” og som stedet, hvor han ”var vokset fra et nummer til en person”.²⁰ Derfor var Dansgaard efter nogle års ansættelse ved Meteorologisk Institut vendt tilbage til laboratoriet på Rockefeller, da han i slutningen af 1950 fik muligheden. Her blev han ansat til at opsætte et nyt massespektrometer. Massespektrometret var designet at skelne isotoper med masser op til 70 gange brintatomets. Det vil sige, at det f.eks. ikke kunne anvendes til at skelne uran-isotoper, som man havde gjort det både i udviklingen af atombomben og i den fredelige udnyttelse af atomenergi. Massepektrometret var indkøbt til det Biofysiske Laboratorium, fordi det var tænkt anvendt til at skelne isotoperne af de ofte lettere molekyler, der indgår i biologiske

¹⁷ Dansgaard (1992), p. 131.

¹⁸ Instituttet var opkaldt efter Rockefeller Foundation, der havde bevilget pengene til opførelsen af institutkomplekset.

¹⁹ Bech (1979), p. 609.

²⁰ Dansgaard (2000), p. 63.

processer. Det viste sig dog, at massespektroskopien ikke havde det store potentiale inden for den medicinske og biologiske forskning, og i hvert fald var behovet for massespektroskopiske analyser inden for disse områder ikke til stede først i 50'erne. Den sommerdag i 1952, hvor Dansgaard sad og kiggede ud på gråvejret, har han derfor sikkert tænkt på sine frustrationer over at være i besiddelse af et avanceret instrument, når der samtidig ikke var nogen forskningsprojekter, hvor det kunne finde anvendelse.

Men midt i gråvejret og frustrationerne fik Dansgaard en idé, som han selv senere har betegnet som et mindre ”mirakel”.²¹ Når han ikke havde noget bedre at bruge sit instrument til, kunne han jo undersøge, om regnvandet, der faldt i hans have, altid havde den samme isotopiske sammensætning. Som sagt så gjort: Dansgaard tog en tom ølflaske og en tragt og brugte dem til at indsamle regnvand i 1-2 timers intervaller de følgende par dage, hvor regnvejret fortsatte næsten uafbrudt.



Figur 4. Dansgaards første eksperimentelle opstilling til indsamling af regnvand.

²¹ Ibid. p. 66.

Efterfølgende analyserede Dansgaard vandprøverne på massespektrometret, og miraklet viste sig her ved, at der faktisk var en målelig variation i andelen af vandmolekyler, hvori der indgik den tunge iltisotop ^{18}O .²² Denne tunge isotop udgør i gennemsnit 0,2 % af alle iltmolekyler, men i løbet af den frontpassage, som Dansgaard studerede regnvandet fra, varierede ^{18}O -indholdet med nogle få promille. Dansgaards første simple tolkning af resultaterne var som følger: Han observerede at ^{18}O -indholdet i regnen steg i løbet af passagen af en varmfront. En varmfront er – som ordet antyder – en varm luftmasse, og den kiler sig derfor ind over den køligere luft, som den fortrænger. Dette betyder, at den første regn i en varmfront stammer fra relativt høje – og dermed kolde – luftlag, og efterhånden som fronten bevæger sig ind, kommer den nedfaldende regn fra lavere og lavere – og dermed relativt varmere – luftlag. Da Dansgaard observerede et stigende ^{18}O -indhold i løbet af frontpassagen, tydede det derfor på, at der var en sammenhæng mellem temperaturen af den luft, hvori regnen var kondenseret, og indholdet af den tunge ^{18}O -isotop.²³

I de efterfølgende måneder studerede Dansgaard denne sammenhæng nærmere²⁴, og i 1954 publicerede han sine resultater i det engelske tidsskrift *Geochimica et Cosmochimica Acta*.²⁵ Her opstillede Dansgaard en kvantitativ formel for ændringen i indholdet af $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ i nedbør som funktion af en given temperaturændring og viste dermed, at den isotopiske sammensætning af nedbør kan anvendes som temperaturindikator. I artiklens afsluttende kommentarer konstaterede Dansgaard, at der i den grønlandske indlandsis er lagvis aflejret nedbør, og at den absolutte sammenhæng mellem $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indholdet i nedbør og lufttemperaturen derfor ”offers the possibility...to determine climatic changes over a period of time of several hundred years of the past”. Til sidst kom Dansgaard

²² Grunden til, at der var en signifikant variation i koncentrationen af $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ i nedbøren, var, at det passerende lavtryk var usædvanlig kraftigt.

²³ Dansgaard (2000) p. 68.

²⁴ Dansgaards studier vil blive diskuteret i større detalje i kapitel 3.

²⁵ Dansgaard (1954b).

med en kommentar til denne mulighed, der skulle blive næsten profetisk for hans arbejde de næste 40 år: *"An investigation will be undertaken as soon as an opportunity offers"*.

Dansgaards idé om at anvende sneen, der er aflejret på den grønlandske indlandsis, som "klimaarkiv" medvirkede i de følgende årtier til iværksættelsen af omfattende og omkostningstunge forskningsprogrammer, som skulle bidrage betydeligt til vores forståelse af klimaet. Set i en større videnskabshistorisk sammenhæng kan man stille sig selv spørgsmålet: Hvorfor var det netop på dette tidspunkt, og hvorfor var det netop i Danmark, at denne idé blev undfanget? For at forstå det, må vi se nærmere på både de videnskabelige og de verdenspolitiske forhold i tiden op til og omkring 1950. Hvilken betydning personen Willi Dansgaard havde for fostringen af idéen om iskernestudier og dens realisering, ser vi nærmere på i næste kapitel.

2.1 Dansk klimaforskning før 1950

I årene og årtierne før Dansgaard fik sin idé til at studere den grønlandske indlandsis for at få indsigt i fortidens klimaændringer, var der allerede en udviklet tradition for palæoklimatiske²⁶ studier i Danmark. Disse studier fandt dog sted inden for en anden faggren end Dansgaards geofysiske målinger; de fandt sted inden for botanikken.

Allerede i slutningen af 1800-tallet havde naturforskere som Japetus Steenstrup påvist, at man i aflejringer i danske søer og moser kunne finde rester af planter, der normalt kun lever under arktiske forhold.²⁷ Disse planterester var levn fra en periode med meget koldt klima, efter isen havde forladt Danmark ved sidste istids afslutning. Steenstrups observationer blev taget op på ny, da Nikolaj Hartz og Wilhelm Milthers, der var hhv. statsgeolog og assistent ved Danmarks Geologiske

²⁶ Palæoklimatiske studier beskæftiger sig med forhistoriens klima og står i kontrast til de klimastudier, der bygger på de direkte målinger af klimaparametre, der er blevet foretaget de sidste godt hundrede år.

²⁷ Hartz *et al.* (1901), p. 31.

Undersøgelse (DGU), undersøgte de blotlagte aflejringer i Allerød teglværksgrav i 1901.²⁸ I gravene fandt de et ca. fire meter tykt lerlag, som indeholdt rester af både planter og mindre dyr. Lerlaget indeholdt bl.a. blade og grene fra *dryasplanten*, der normalt vokser på den arktiske tundra, og de bekræftede derved Steenstrups observationer af et tidligere arktisk klima i Danmark. Laget var således blevet aflejret i den kolde periode, der fulgte isens tilbagetrækning fra Danmark.



Figur 5. Rester af dryas-planten som den blev afbildet i Hartz' afhandling fra 1901.

I den nedre del af lerlaget – dvs. fra perioden kort efter isen havde trukket sig tilbage - fandt Hartz og Milthers et ca. 10 cm tykt gytjelag²⁹, hvori der var rester fra bl.a. birketræer. Birk kræver et betydeligt mildere klima end det arktiske klima, som dryasplanten indikerede, og gytjelaget, hvori der ikke fandtes dryasrester, måtte derfor være blevet aflejret i en midlertidig varmeperiode. Påvisningen af gytjelaget i Allerød viste således, at der – i hvert fald i Danmark – havde været en periode med varmere klima ved afslutningen af sidste istid. Det milde klimaindslag viste sig senere at kunne genfindes i aflejringer over hele den nordlige halvkugle, og er senere blevet døbt Allerød-varmeperioden.³⁰

²⁸ Ibid.

²⁹ Gytje: grågrønlige dynd af findelte plante- og dyredele på bunden af søer og have.

³⁰ Mangerud *et al.* (1974).

Hartz, der stod for de botaniske analyser af Allerødaflejringerne, forlod i 1913 DGU til fordel for en karriere i forretningslivet.³¹ Hans efterfølger, Knud Jessen, fortsatte Hartz' forskningslinie med palæobotaniske studier, og tilførte derudover forskningen en ny metode – pollenanalysen – som han havde studeret under besøg hos botanikere i Sverige, hvor metoden var blevet udviklet. Pollenanalysen eller palynologien, som den også kaldes, går ud på, at man i stedet for at studere makroskopiske planterester i aflejringer, ser på aflejringer af pollen, der også er karakteristiske for de enkelte plantearter. Da pollen både aflejres i et langt større antal og kan tilføres med vinden fra et større område, giver en undersøgelse af pollenaflejringer et langt mere detaljeret og repræsentativt billede af fortidens vegetation end enkelte fund af planterester.

Resultaterne af Jessens arbejde, som han bl.a. gennemførte i samarbejde med Milthers, resulterede i 1935 i en publikation, hvor aflejringerne inddeltes i kronologiske zoner: Ældre og Yngre Dryas, som var karakteriseret ved tilstedeværelsen af pollen fra den arktiske dryasplante, og den mellemliggende Allerød-varmeperiode, som var karakteriseret ved bl.a. pollen fra birketræer. På dette tidspunkt var Jessen ikke længere ved DGU, da han i 1931 var blevet indsat som professor i botanik ved Københavns Universitet. Det var dog ikke ved Universitetet, at traditionen for palynologiske studier skulle videreføres, men derimod ved DGU, hvor den nyudklækkede magister i botanik, Johannes Iversen, var blevet ansat som assistent næsten samtidig med, at Jessen forlod institutionen.

Iversen foretog, som Jessen havde gjort det to årtier tidligere, studierejser til Stockholm, hvor man stadig var i front med den palynologiske forskning. Den svenske forskning var koncentreret omkring studier af skovpollen, men Iversen arbejdede i de følgende år på at udvide analyserne til at inkludere så mange typer pollen som muligt. For at kunne opfylde denne ambition var det nødvendigt at definere og identificere de forskellige typer pollen, som kunne findes i aflejringer. Dette store arbejde blev gennemført op gennem 1930'erne og 1940'erne ved

³¹ Wolff *et al.* (1979), p. 234.

DGU's moselaboratorium under ledelse af Iversen.³² Kulminationen på projektet kom i 1950 i form af en afhandling i samarbejde med Jørgen Troels-Smith med titlen "Pollenmorfologiske definitioner og typer" og samme år udkom tillige "Text-book of Modern Pollen Analysis", som Iversen skrev sammen med den norske botanikprofessor Knut Fægri. Sidstnævnte bog blev i de følgende årtier standardværket i palynologiundervisningen ved højere læreanstalter.

Allerede i 1942 havde Iversens grundige studier kastet resultater af sig, da han i den sønderjyske Bølling Sø identificerede birkepollen i aflejringer, der lå dybere end aflejringerne fra Ældre Dryas.³³ Dette betød, at der havde været endnu en midlertidig varmeperiode før den tidligere påviste Allerød-periode. Den nye varmeperiode er siden blevet betegnet Bølling-perioden. I første halvdel af det 20. århundrede påviste danske forskere således, at den sidste istid ikke var afsluttet med en jævn temperaturstigning, men derimod med relativt bratte skift mellem milde perioder med subarktisk til tempereret klima og koldere perioder, hvor forholdene igen var blevet arktiske. Som det også vil blive diskuteret i et senere afsnit, havde man før ca. 1950 ikke mulighed for at datere disse kulde- og varmeperioder og derfor heller ikke mulighed for at vurdere deres varighed eller overgangstiden mellem kolde og varme perioder.

2.2 Tidlig klimadebat

I starten af 1950'erne var der altså i Danmark en tradition for palæoklimatisk forskning, og man var klar over, at klimaet førhen havde ændret sig endda betydeligt. Men også uden for de videnskabelige kredse var mere aktuelle klimaforandringer begyndt at få opmærksomhed. Op gennem 1930'erne og 1940'erne havde den svenske glaciolog Hans Ahlmann påvist, at gletschere i hele det nordatlantiske område havde trukket sig tilbage siden slutningen af 1800-tallet, og han dokumenterede, at tilbagetrækningen sandsynligvis skyldtes en stigning i

³² Troels-Smith (1972) p. 147.

³³ Iversen (1954) og Troels-Smith (1972).

temperaturen på 1,5°C i dette område.³⁴ Også i Danmark studerede en meteorolog den tilsyneladende opvarmning. På grundlag af meteorologiske observationer fra hele verden viste lederen af vejrtenesten på Meteorologisk Institut, Leo Lysgaard, i 1949, at der i perioden fra 1910-1940 var observeret en gennemsnitlig temperaturstigning på 0,33°C. Særligt i vintermånederne og på den nordlige halvkugle var opvarmningen tydelig, da stigningen her i gennemsnit var på 0,67°C.³⁵

Både i danske og udenlandske medier blev disse resultater diskuteret. Den amerikanske videnskabshistoriker Spencer Weart har foretaget detaljerede studier af særligt den amerikanske klimaforskning og klimadebat, og han påpeger, at de globale klimaændringer fik en vis opmærksomhed allerede fra slutningen af 1930'erne, da opvarmningen på dette tidspunkt begyndte at få konsekvenser for blandt andet landbruget.³⁶ Siden hen viste en gennemgang af meteorologiske data, som den Lysgaard foretog i 1949, at formodningerne om en opvarmning i starten af det 20. århundrede var reel. Selvom disse klimaændringer blev diskuteret i de offentlige medier, gav det dog ikke anledning til nogen større debat. Det skyldtes bl.a., at den mest udbredte holdning blandt videnskabsfolk var, at opvarmningen blot var en tilfældig klimavariation, som man havde set det så mange gange før i historien, og at temperaturen derfor før eller siden ville falde igen.³⁷ Temperaturstigningen blev ikke betragtet som ekstraordinær – man kunne blot konstatere, at man nu var i stand til at registrere klimaets svingninger. En del af debatten omhandlede naturligvis også de mulige årsager til klimaændringerne. Sådanne diskussioner havde på dette tidspunkt været foretaget i over hundrede år blot med henblik på istidernes årsager. Som Spencer Weart påpeger, var der derfor i 1950'erne mange bud på, hvad klimaændringerne kunne skyldes som f.eks. teorier om vulkansk aktivitet, ændringer i Solen og øget CO₂-udledning.³⁸ De færreste

³⁴ Fleming (1998), p. 118.

³⁵ Lysgaard (1949), p. 33.

³⁶ Weart (2001), p. 269.

³⁷ Ibid., p. 69.

³⁸ Ibid. p. 270.

mente, at menneskelig aktivitet kunne påvirke klimaet på global skala, og diskussionerne om klimaændringerne havde derfor ikke de politiske implikationer, som de har i dag, og de påkaldte sig ikke så megen opmærksomhed. Derudover er det værd at bemærke, at de fleste anså en stigning i den globale middeltemperatur for en positiv udvikling, der ville give forbedrede vilkår for landbruget, og gøre større dele af det arktiske område beboeligt.

I Danmark fik klimaændringerne dog mere offentlig opmærksomhed end i de fleste andre lande. Dette skyldtes ikke, at der i Danmark var nogen særlig forskningsmæssig interesse i klimaændringerne; som nævnt lå den mest fremtrædende danske klimaforskning inden for det palæoklimatiske område. Opmærksomheden skyldtes derimod, at klimaændringerne havde betydelige konsekvenser for Grønland, der på dette tidspunkt havde status som dansk koloni. Klimaet i Grønland lå i forvejen på grænsen til at kunne understøtte et moderne samfund, og selv mindre klimaændringer kunne derfor få betydelige konsekvenser for den grønlandske befolkning.

I februar 1947 holdt Hans Ahlmann et foredrag i Det Grønlandske Selskab, hvor han fremlagde resultaterne af både sine gletscherstudier og andres studier, der viste, at der havde været en betydelig opvarmning i store dele af det arktiske område. De aktuelle klimaændringer havde hidtil ikke fået megen opmærksomhed i den danske offentlighed – faktisk var der ikke én artikel om klimaændringer i danske aviser i årene før 1948³⁹ – men i kølvandet på Ahlmanns foredrag og publiceringen af det i Det Grønlandske Selskabs Årsskrift⁴⁰, kom der en stime af artikler om klimaændringerne og særligt om deres betydning for Grønland. En af dem, der engagerede sig i ”debatten” var statsmeteorologen Johannes Olsen.⁴¹ Han havde siden starten af 1920’erne deltaget i adskillige ekspeditioner til Grønland, og

³⁹ Ved en gennemgang af de avisartikler, der er registreret i *Danske Aviskronik Indeks*, forekommer der i kategorierne *Grønland* og *Naturvidenskab* ingen artikler fra 1946 og 1947, der relaterer direkte til klimaændringer.

⁴⁰ Ahlmann (1948).

⁴¹ Olsen (1948a) og Olsen (1948b).

havde i perioden fra 1926-32 været leder af Meteorologisk Instituts Magnetiske Observatorium i Godhavn, der ligger på øen Disko ved Grønlands vestkyst. Han havde derfor en stor interesse for Grønland, og han var derudover en engageret formidler af naturvidenskab bl.a. gennem et stort antal radioforedrag. I sine artikler om klimaændringerne lagde Olsen særlig vægt på deres betydning for det grønlandske torskefiskeri. Opvarmningen gennem de første årtier af det 20. århundrede havde gjort, at den nordatlantiske havtorsk var trukket længere mod nord og dermed kunne fiskes langt op ad den grønlandske vestkyst. Sådanne varmeperioder med gunstige forhold for torskefiskeriet havde været til stede adskillige gange i historien, men tidligere varmeperioder havde kun været nogle få år, og de havde derfor ikke haft større betydning for det grønlandske fiskeri.⁴² Varmeperioden i det 20. århundrede havde derimod allerede været i godt tyve år, da Olsen i slutningen af 1940'erne skrev sine artikler, og i denne periode havde det grønlandske fiskeri tilpasset sig de nye forhold, så torskefiskeriet var blevet hovederhvervet i det sydlige Grønland.⁴³ En forståelse af klimaændringerne og viden om, hvordan klimaet ville udvikle sig fremover, var derfor vigtig, da ”Grønlændernes Økonomi i vore Dage er baseret paa den forudsætning, at Klimaforbedringen holder, saa Torsken stadig forbliver i de grønlandske Farvande”.⁴⁴

Netop i disse år – slutningen af 1940'erne – var Grønland inde i en rivende udvikling. Før anden verdenskrig havde Grønland været lukket for omverdenen, men under krigen havde grønlænderne stiftet bekendtskab med det moderne samfunds goder, da amerikanske baser var blevet etableret på Grønland. Det var derfor ikke længere muligt – og nok heller ikke ønskeligt – at holde udviklingen af det grønlandske samfund tilbage.⁴⁵ Derfor nedsattes i 1947 en Grønlandskommission, der skulle tilrettelægge moderniseringen af det grønlandske

⁴² Brandt (1955).

⁴³ Nielsen (1949).

⁴⁴ Olsen (1948a).

⁴⁵ Nissen (1991), p. 286ff.

samfund. Et af hovedformålene med moderniseringen var, at Grønland i løbet af 15 år skulle blive økonomisk selv bærende, og dette skulle bl.a. ske gennem en øget satsning på det gunstige torskefiskeri og den videre industrielle behandling af fisken. Som et led i denne omstilling af den grønlandske industri oprettedes i 1946 Grønlands Fiskeriundersøgelser, der havde til formål at studere fiskeforekomsterne i de grønlandske farvande. Resultaterne af disse undersøgelser pegede i de første år på, at der efterhånden var opbygget en stabil torskebestand i de grønlandske farvande, og at denne bestand sagtens kunne danne grundlag for et effektivt torskefiskeri.⁴⁶ I de første år af 1950'erne voksede bestanden endog så hurtigt, at den næsten blev for tæt, og de yngre årgange voksede langsommere end normalt.⁴⁷ De meget gunstige forhold for fiskeriet lokkede også mange udenlandske fiskere til, der fiskede med store trawlere på bankerne ud for kysten. De udenlandske fiskeres tilstedeværelse var ikke umiddelbart et problem for det grønlandske fiskeri, da de grønlandske fiskere kun havde udstyr til at drive bundgarns- og linefiskeri i kyst- og fjordområderne.

I midten af 1950'erne begyndte grønlændernes kystfiskeri dog at fejle, mens de udenlandske fiskere stadig kunne hente rekordstore fangster på bankerne. Dette gav anledning til en vis debat om, hvorvidt det grønlandske fiskeri skulle omlægges til trawlfiskeri.⁴⁸ En omlægning ville medføre betydelige omkostninger, men den ville til gengæld betyde, at grønlænderne på lige fod med andre kunne udnytte de rigelige torskeforekomster på bankerne. Med i betragtningerne var også overvejelser om, hvorvidt de gunstige fiskeforhold ville fortsætte. Nogle undersøgelser tydede på, at den hidtidige tendens mod højere temperaturer var vendt: ”Havbiologerne siger, at klima og havtemperatur har været som i tiden før torsken kom til Grønland i større tal, og at der ganske øjensynligt er fare for, at Grønlands klima bliver koldere i de kommende år.”⁴⁹ Det første udslag af de faldende temperaturer var netop, at en

⁴⁶ Hansen (1951).

⁴⁷ Hansen (1953).

⁴⁸ Brandt (1955) og Damm (1955).

⁴⁹ Brandt (1955).

kold havstrøm op langs den grønlandske vestkyst var blevet forstærket, og dermed var torsken blevet fordrevet fra kystområderne. Hvis denne klimaudvikling fortsatte, ville selv trawlfiskeriet leve på lånt tid.



Figur 6. Portugisiske fiskere ved Grønlands vestkyst i starten af 1950'erne.

Omkring 1950 var der en del debat i danske aviser om, hvorledes man skulle gribe moderniseringen af det grønlandske samfund an. Udviklingen af torskefiskeriet havde allerede resulteret i en højere levestandard, og det var derfor naturligt, at fiskeriet og den medfølgende industri skulle bære den økonomiske vækst. Da den gunstige klimaændring i starten af århundredet havde afgørende betydning for fiskeriets forhold, fik klimaændringerne, som det er vist, en vis opmærksomhed i medierne. Dog er det iøjefaldende, at alle artikler om klimaændringer enten er kommet i fagtidsskrifter eller i lokalaviser. Dette tyder på, at selvom klimaændringerne og deres betydning har været kendt, så har debatten om dem ikke haft bredere interesse.

Da Willi Dansgaard påbegyndte sine regnvandsstudier i 1952 havde han ikke tidligere beskæftiget sig med klimaforskning, men han havde et meget nært forhold

til Grønland, hvor han havde boet i 1947-48 og arbejdet som assistent ved Meteorologisk Instituts Magnetiske Observatorium i Godhavn. I slutningen af 1940'erne, da debatten om moderniseringen af Grønland og forholdene for det grønlandske fiskeri begyndte at vokse frem, fulgte Dansgaard derfor med bl.a. som gæst ved møderne i Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland.

2.3 Institutionalisering af de geofysiske videnskaber i Danmark

Som det er blevet vist, var der efter anden verdenskrig en tradition for palæoklimatiske studier inden for botanikken, og der kom i slutningen af 1940'erne og op gennem 1950'erne en vis generel opmærksomhed omkring de aktuelle klimaforandringer. Inden for de geofysiske videnskaber⁵⁰, der bl.a. omfatter meteorologi, aerologi, seismologi og oceanografi og dermed også omfatter betydelige områder af studiet af Jordens klima, var der dog kun delvist udviklet en videnskabelig tradition i Danmark. Der var således i slutningen af 1940'erne ingen universitetsstillinger inden for disse områder⁵¹, og kun inden for seismologien havde der fra dansk side været betydelige videnskabelige bidrag. Dette skulle dog ændre sig i de følgende år bl.a. som følge af en intern, fagpolitisk diskussion, men i høj grad også som følge af den storpolitiske udvikling.

2.3.1 Meteorologi

Danmark havde siden 1872 haft et Meteorologisk Institut, der som sit primære formål havde varetægelsen af den daglige vejrteneste. Denne vejrteneste var oprindeligt baseret på praktiske erfaringer og statistiske betragtninger og havde således ikke noget egentligt videnskabeligt grundlag. Den videnskabelige meteorologi blev først grundlagt i 1920'erne af den norske fysiker Vilhelm Bjerknes, hvis vision det var at kombinere meteorologiske observationer med teoretiske

⁵⁰ Traditionel, beskrivende geologi er her ikke medregnet i gruppen af geofysiske videnskaber.

⁵¹ En undtagelse er ved Geografisk Institut, hvor der i en vis udstrækning blev foretaget geofysiske studier, og hvor særligt lektor Børge Fristrup gennemførte omfattende studier af grønlandske gletschere.

beregninger af atmosfærens dynamik for derigennem at opnå mere præcise vejrforudsigelser. Den nye meteorologi byggede først og fremmest på anvendelsen af front-begrebet og er derfor også siden blevet betegnet *frontologien*. I Danmark vandt frontologien ikke indpas i første omgang, da Meteorologisk Instituts direktør var skeptisk over for Bjerknes' metoder.⁵² Først i slutningen af 1930'erne, efter at flere af de ansatte ved Meteorologisk Institut havde foretaget studierejser til Bjerknes gruppe i Bergen, begyndte man at anvende frontologiens metoder i de danske vejrudsigter.

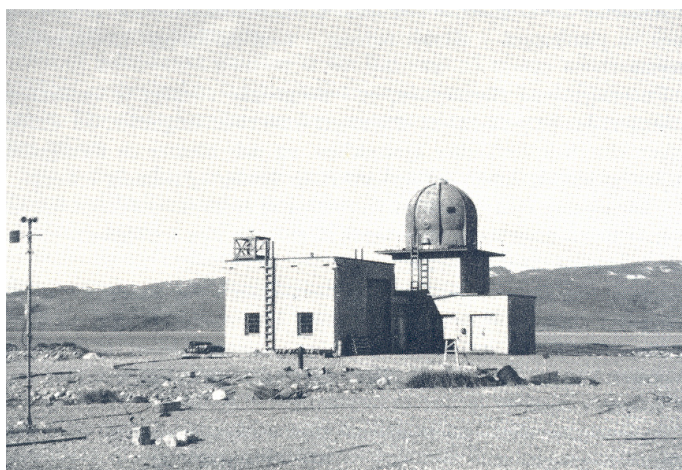
Modviljen mod at anvende den videnskabelige meteorologi i den praktiske vejrforudsigelse skyldtes til dels, at Meteorologisk Institut ikke havde nogen tilknytning til Universitetet. Instituttet hørte under Marineministeriet, hvilket afspejlede den praktiske funktion, som Meteorologisk Institut havde, og den videnskabelige, teoretiske meteorologi har derfor været fremmed for traditionen ved Instituttet. Selvom frontologien så småt vandt indpas i slutningen af 1930'erne, var det dog den storpolitiske udvikling efter anden verdenskrig, der nødvendiggjorde en institutionalisering af den videnskabelige meteorologi i Danmark. Også i denne historie spillede det danske engagement i Grønland en afgørende rolle.

Ved Danmarks besættelse 9. april 1940 var forbindelsen mellem Danmark og Grønland blevet afbrudt. Amerikanerne, der længe havde været klar over Grønlands strategiske betydning, indledte forhandlinger med den danske gesandt i Washington, Henrik Kauffmann, om oprettelsen af amerikanske baser på Grønland.⁵³ En sådan aftale, Grønlandsoverenskomsten, blev indgået den 9. april 1941, hvorved amerikanerne fik lov til at oprette militære baser på Grønland mod, at de samtidig forpligtede sig til at forsyne og forsvare landet. I overenskomsten hed det desuden, at "Nærværende Overenskomst skal forblive i Kraft, indtil der er Enighed om, at de nuværende Farer for det amerikanske Kontinents Fred og

⁵² Meteorologisk Institut (1972), p. 38.

⁵³ Historien om de amerikanske baser på Grønland er beskrevet i stor detalje i Lidegaard (1999), p. 179ff.

Sikkerhed er ophørt”.⁵⁴ Henrik Kauffmann, der ved indgåelsen af overenskomsten havde handlet på egen hånd og uden den danske regerings vidende, blev efterfølgende udråbt til landsforræder, da aftalen var en hån mod den tyske besættelsesmagt. Amerikanerne ville dog ikke anerkende afskedigelsen af Kauffmann og fortsatte i stedet samarbejdet med ham som en uafhængig repræsentant for den danske regering. I forbindelse med den efterfølgende oprettelse af militærbaser på Grønland etablerede amerikanerne også et net af meteorologiske stationer, der blev forsynet med mandskab og instrumenter fra USA.⁵⁵



Figur 7. Den meteorologiske station i Narsarsuaq i Sydgrønland.

Ved krigens ophør fik Henrik Kauffmann en heltemodtagelse i København og Grønlandsoverenskomsten blev ratificeret ved Rigsdagens første ordinære møde den 16. maj 1945.⁵⁶ Nu, da krigen var ovre, ville den danske regering atter håndhæve den danske suverænitæt over Grønland, og man ønskede derfor at indlede forhandlinger om amerikanernes tilbagetrækning fra Grønland og opsigelsen af Grønlandsoverenskomsten. I den nye politiske situation efter krigen,

⁵⁴ Ibid. p. 196.

⁵⁵ Betænkning fra Kommissionen af 23. april 1949 vedr. den danske vejrtjeneste, 1949 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet), p. 24.

⁵⁶ Lidegaard (1999), p. 355 og 387.

ønskede USA dog ikke at give afkald på de grønlandske baser. Efterhånden som den kolde krig udviklede sig i de følgende år, øgedes Grønlands strategiske betydning, blandt andet pga. landets placering på den korteste flyrute mellem USA og Sovjetunionen.⁵⁷ Ordlyden i Grønlandsoverenskomsten, som den er citeret ovenfor, gav endvidere mulighed for en vis tolkningsfrihed i spørgsmålet om, hvor længe overenskomsten skulle gælde, og dermed hvor længe amerikanerne kunne opretholde de grønlandske baser. Allerede kort efter krigens afslutning begyndte man dog efter gensidig aftale at overdrage de grønlandske vejrstationer til Danmark, da ”man [den danske regering] har ønsket i videst mulig Omfang at erstatte amerikansk Aktivitet i Grønland med dansk Aktivitet, som Indledningen til en trinvis Afvikling af al amerikansk Aktivitet i Grønland”.⁵⁸

I forhandlingerne om amerikanernes militære tilstedeværelse blev driften af de meteorologiske stationer et vigtigt kort i spillet. Som nævnt var amerikanernes militære interesse i Grønland om ikke større, så i hvert fald lige så stor, som under krigen. Men udformningen af Grønlandsoverenskomsten gav ikke mulighed for, at amerikanerne kunne blive på ubestemt tid, da overenskomsten kun var gældende indtil ”de nuværende Farer for det amerikanske Kontinents Fred og Sikkerhed er ophørt”, hvilket jo var tilfældet. Hvis amerikanerne skulle forblive på Grønland, skulle der derfor indgås en ny aftale.

Allerede i slutningen af 1946, netop som samtlige vejrstationer var blevet overtaget af Danmark, modtog den danske regering kritik af det danske mandskab, der var blevet sendt til Grønland for at varetage vejrtjenesten. Fra Henrik Kauffmann, der var blevet genindsat som gesandt i Washington, lød det i et brev til den danske udenrigsminister dateret 21. december 1946, at der ”fra State Department’s Side i den senere Tid [har] været givet Udtryk for, at en stor Del af de Folk, der er udsendt fra Danmark til at passe Vejrstationerne, synes at være af

⁵⁷ Ibid., p. 405.

⁵⁸ Referat af møde i Eksekutivudvalget vedrørende den grønlandske meteorologiske tjeneste, 18. april 1947 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet), p. 3.

meget ringe Kvalitet”.⁵⁹ Kritikken kan til dels bunde i, at det danske mandskab rent faktisk var dårligt forberedt på opgaven, da der i Danmark som nævnt ikke var nogen formel uddannelse i hverken praktisk eller teoretisk meteorologi. Chefen for den Grønlandske Marinekommando skrev således til Henrik Kauffmann, at ”[m]ed hensyn til Uddannelsen af de udsendte Vejrtjenestefolk er de mødt i Grønland uden Forkundskaber”.⁶⁰ Kritikken skyldes dog sandsynligvis også, at amerikanerne ved at påpege manglerne ved den danske vejrtjeneste, fik et argument for deres fortsatte tilstedeværelse i Grønland. Som Kauffmann skriver: ”Under de paabegyndte Forhandlinger med den amerikanske Regering om Grønlandsoverenskomsten af 9. April 1941 og den eventuelle Tilvejebringelse af en for begge Parter tilfredsstillende Ordning vil det være et meget betydeligt Handicap, hvis det fra amerikansk Side kan siges, at vi aabenbart ikke er i Stand til at varetage Vejrtjenesten i Grønland paa forsvarlig Maade”.⁶¹

Argumentet om, at danskerne ikke var i stand til at varetage vejrtjenesten på en tilfredsstillende måde, kunne oven i købet anvendes over for omverdenen, da de meteorologiske observationer var nødvendige for den hastigt voksende, civile lufttrafik. Inden for den videnskabelige meteorologi var Danmark som nævnt langt bagud i forhold til sine nordiske naboer, og dette forhold understøttede de amerikanske bekymringer vedrørende Danmarks evne til at opfylde sine internationale forpligtelser: ”Amerikanernes stærke Interesse for de grønlandske Stationer... stod i [nogen Grad i] Forbindelse med den tidligere erfarede Mangel på Interesse for disse Ting fra Danmarks Side”.⁶² En måde at understrege danskernes

⁵⁹ Referat af møde i Udvalget til coordination af forskellige opgaver på Grønland, 20. februar 1947 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet), p. 7.

⁶⁰ Afskrift af brev fra Orlogskaptajn Tegner, Chef for den Grønlandske Marinekommando til Henrik Kauffmann, 12. december 1946 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet).

⁶¹ Citat fra Henrik Kauffmanns brev til den danske udenrigsminister, der er refereret i: Referat af møde i Udvalget til coordination af forskellige opgaver på Grønland, 20. februar 1947 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet).

⁶² Brev ang. professorat i teoretisk meteorologi, 1. marts 1948 (KU, Naturvidenskabeligt Fakultets arkiv, Rigsarkivet). Dette citat omhandler en samtale, som direktøren for Meteorologisk Institut, Helge Petersen, havde med Henrik Kauffmann ang. de grønlandske vejrstationer.

faglige kompetence til at drive vejrstationerne ville derfor være at oprette et professorat i meteorologi ved Københavns Universitet, da ”det [kan] være af afgørende politisk Betydning, at man fra dansk Side dokumenterer, at man fuldtud er i Stand til at varetage Vejr-tjenesten paa Grønland”.⁶³

Det var dog ikke kun fra politisk side, at der var en interesse i at støtte det praktiske, meteorologiske arbejde i Grønland med en videnskabelig meteorologiuddannelse – også fra videnskabelig side var der en interesse for en udvidelse af den meteorologiske forskning i Grønland. Den svenske glaciolog, Hans Ahlmann, havde allerede i sit foredrag i Det Grønlandske Selskab i februar 1947 tilkendegivet, at han ønskede, at hans studier af de tilbagetrækkende gletschere i det nordatlantiske område skulle understøttes af omfattende meteorologiske observationer i Grønland:

Åtminstone de flesta torde vara eniga om, att den grönländska inlandsisens inflytande på klimatet icke inskränker sig till dess egna utbredningsområden utan att det sträcker sig även utanför detta. Behovet av rationellt genomförda undersökningar av atmosfärens tillstånd från inlandsisens yta till den höjd, dit radiosonder nå, är trängande icke bara för erhållandet av förståelse av luftcirkulationen inom dette utomordentligt viktiga område utan även för luftfartens rent praktiska genomförande. Dette sista skäl är det aktuellt tyngst vägande. Undersökningar av denna art från en inlandsisstation i samarbete med kuststationer i väster, öster och om möjligt även i norr äro nödvändiga att snarast få utförda.⁶⁴

I årbogen fra Københavns Universitet står der, at Universitetet ”gennem undervisningsministeriet [har] fået tilstillet et af den kgl. danske ambassade i Washington under 18. juni 1947 udarbejdet memorandum, ifølge hvilket den svenske professor Ahlmann [har] udtalt sig for oprettelsen af et professorat i meteorologi ved Københavns Universitet”.⁶⁵ Det lader derfor til, at Ahlmann, der primært var interesseret i den meteorologiske tjeneste i Grønland af videnskabelige

⁶³ Referat af møde i Udvalget til coordination af forskellige opgaver på Grønland, 20. februar 1947 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet), p. 10.

⁶⁴ Ahlmann (1948), p. 32.

⁶⁵ Københavns Universitet (1964), p. 282.

grunde, har set muligheden i at udnytte den politiske situation til at få større fokus på den meteorologiske forskning i Danmark. At dette skulle være tilfældet, er ikke usandsynligt set i lyset af hans interesse og evner inden for diplomatiet, hvilket bl.a. førte til, at han blev Sveriges ambassadør i Norge i perioden 1950-1956.⁶⁶

Konklusionen på den både politiske og videnskabelige debat om den videnskabelige meteorologis stilling i Danmark blev således, at der den 21. februar 1949 blev opslået et professorat i teoretisk meteorologi ved Københavns Universitet.⁶⁷ Allerede inden professoratet blev opslået, havde nordmanden Sverre Petterssen tilkendegivet sin interesse for professoratet. Sverre Petterssen havde under anden verdenskrig ledet de allieredes vejrteneste, og han nød derfor stor international respekt. I bedømmelsesudvalgets vurdering af Petterssens kvalifikationer understregedes det dog, at mens Petterssens evner inden for den praktiske meteorologi var fremragende, så var hans evner inden for den teoretiske meteorologi til gengæld begrænsede: ”Han har udprægede praktiske anlæg, men...den rent teoretiske forskning [ligger] mindre godt for ham; hans matematiske kundskaber er også begrænsede”.⁶⁸ Hvis formålet med oprettelsen af professoratet var at indføre den videnskabelige meteorologi, der var blevet startet af Bjerknes i Norge, ville dette heller ikke lykkes ved ansættelsen af Petterssen, da ”han ingen andel [har] i de grundlæggende opdagelser fra denne forskerskoles pionertid. I det hele taget er han ingen forskerpioner og han har ikke gjort nogen fundamental opdagelse i den rene videnskab.”

At Petterssen trods disse udtalelser blev indstillet til professoratet, skyldes sandsynligvis, at det netop ikke var hans faglige kvalifikationer, der var essentielle ved hans indsættelse, men nærmere det signal, det sendte til amerikanerne om seriositeten af den danske meteorologiske tjeneste. Ved Petterssens konstitution som professor i maj 1950 var der endnu ikke indgået en aftale med amerikanerne om de grønlandske basers fremtid. I foråret 1950 befandt Petterssen sig dog i USA,

⁶⁶ Schytt (1974).

⁶⁷ Københavns Universitet (1964), p. 285.

⁶⁸ Ibid. p. 289.

og inden han nåede at rejse til Danmark og modtage konstitutionen, brød Korea-krigen ud.⁶⁹ Da Petterssen var den mest prominente meteorolog inden for vejrtjeneste i krigstid, fik han et tilbud om at blive i USA, og den 19. juli 1950 meddelte han Københavns Universitet, at han ikke kunne modtage konstitutionen som professor.⁷⁰

Professoratet blev opslået på ny i november 1950, men inden bedømmelsesudvalget nåede at fremkomme med sin udtalelse om de nye ansøgere, var der i april 1951 blevet indgået en aftale mellem Danmark og USA, ifølge hvilken amerikanerne fik fuld råderet over de militære baser på Grønland.⁷¹ Professoratet havde derfor ikke længere den politiske betydning, som oprindeligt havde været årsagen til dets oprettelse. I bedømmelsesudvalgets udtalelse fra juni 1951 er det tydeligt, at der denne gang blev lagt langt større vægt på ansøgenes faglige kvalifikationer, og særligt på deres kvalifikationer inden for den teoretiske meteorologi, som var professoratets område. Professoratet blev herefter besat af en anden nordmand, Ragnar Fjörtoft, der på mange måder var Petterssens direkte modsætning. Fjörtoft var uddannet med teoretisk meteorologi som speciale, og udvalget skrev om ham, at han ”[m]ed frisk mod giver...sig i kast med de mest indviklede problemer i den teoretiske meteorologi” og, at ”han helt mestrer det matematiske formelapparat, som benyttes for at komme frem til en løsning af ligningerne”.⁷² Derudover var Fjörtoft på forkant med den nyeste udvikling inden for meteorologien, da han siden slutningen af 1949 havde han opholdt sig ved Institute of Advanced Study i Princeton, USA, hvor matematikeren John von Neumann havde opstartet et forskningsprogram, der beskæftigede sig med konstruktionen af numeriske vejrmodeller. Disse modeller byggede på den teoretiske beskrivelse af vejrphænomenerne, som var udviklet ved Bjerknes’ skole i

⁶⁹ Korea-krigen brød ud ved Nordkoreas invasion af Sydkorea den 25. juni 1950.

⁷⁰ Københavns Universitet (1964), p. 290 og Interview med Erik Eliassen.

⁷¹ Lidegaard (1999), p. 492.

⁷² Københavns Universitet (1964), p. 296.

Bergen, og de udnyttede samtidig den kraftigt øgede regnekapacitet, man havde opnået ved udviklingen af de elektroniske regnemaskiner under anden verdenskrig.

I Princeton havde Fjörtoft været en af de mest fremtrædende blandt en lille gruppe af videnskabsfolk, der arbejdede på konstruktionen af de numeriske modeller, der i de følgende årtier skulle revolutionere både den praktiske og den videnskabelige meteorologi. Ved sin indsættelse som professor i København var det derfor en af de mest lovende meteorologer, der kom til at tegne det nye institut. Fjörtoft kom dog aldrig til at føle sig hjemme i Danmark, hvilket måske til dels skyldtes det næsten ikke-eksisterende faglige miljø, der var inden for meteorologien i Danmark. Ved sin ansættelse fik Fjörtoft tilknyttet to videnskabelige assistenter fra Vejrtjenesten, Erik Eliassen og Aksel Wiin-Nielsen,⁷³ der begge havde en baggrund som fysikere. Selvom professoratet var blevet oprettet med henblik på at give den praktiske meteorologi et videnskabeligt grundlag, var der ved Meteorologisk Institut ikke nogen interesse for at bygge videre på de idéer, som Fjörtoft bragte med sig,⁷⁴ og da han i 1955 fik mulighed for at overtage direktørposten for det norske meteorologiske institut, forlod Fjörtoft Danmark.

Efter Fjörtofts afgang overtog Erik Eliassen både det undervisningsmæssige og det administrative ansvar for Institut for Teoretisk Meteorologi, men professoratet i teoretisk meteorologi blev det besluttet ikke at genopslå foreløbig. Det skyldtes måske, at det ved indgåelsen af den nye baseaftale med amerikanerne i 1951 ikke længere var en politisk nødvendighed at signalere over for omverdenen, at den videnskabelige meteorologi blev dyrket i Danmark. Først i 1960 blev professoratet genopslået, og denne gang blev det søgt af to danskere, nemlig Fjörtofts tidligere assistenter, Erik Eliassen og Aksel Wiin-Nielsen, af hvem Erik Eliassen fik professoratet. Eliassen forblev i professoratet helt frem til sin pensionering i 1992.

Erik Eliassen havde en baggrund i teoretisk fysik, hvor han havde specialiseret sig inden for hydrodynamikken. I sin studietid havde han læst sammen med Willi

⁷³ Meteorologisk Institut (1972), p. 114.

⁷⁴ Interview med Erik Eliassen.

Dansgaard og efter, at de blev magistre, fik de begge ansættelse ved Meteorologisk Institut, hvor de i en periode arbejdede sammen i vejrtjenesten. Selvom Dansgaard i 1950 forlod Meteorologisk Institut, holdt de kontakten, og da de senere begge blev professorer inden for det geofysiske fagområde på Universitetet, brugte de ofte hinanden som faglige sparringspartnere.⁷⁵

Som nævnt havde professoratet i meteorologi mistet sin direkte politiske betydning ved indgåelsen af en ny Grønlandsaftale med amerikanerne i april 1951. Som følge af den politiske udvikling i efterkrigsårene havde Danmark været nødt til at opgive sin hidtidige neutralitetspolitik og knyttede sig i stedet til vest-alliancen, der blev formaliseret ved oprettelsen af NATO. En af konsekvenserne af denne nye politiske situation blev, at Danmark, som et led i NATO-deltagelsen, tillod amerikanernes fortsatte tilstedeværelse i Grønland og endog tillod en udbygning af visse af baserne.⁷⁶ Selvom de grønlandske basers fremtid herved var afklaret, havde den amerikanske aktivitet i Grønland langt fra udspillet sin rolle i forhold til den videre udvikling af de geofysiske videnskaber i Danmark. Som der senere vil blive set nærmere på, fik USA's militære projekter i Grønland afgørende betydning for udviklingen af Dansgaards iskerneforskning.

2.3.2 Geofysik

Da Københavns Universitet modtog henvendelsen fra den danske ambassade i Washington, hvor der opfordredes til oprettelsen af et professorat i meteorologi, nedsattes et udvalg, der skulle undersøge ”uddannelses- og forskningsmuligheder i den geofysiske faggruppe”.⁷⁷ Medlemmerne af denne gruppe var Niels Bohr, H. M. Hansen (rektor og leder af Biofysisk Laboratorium), N. E. Nørlund (direktør for Geodætisk Institut), Niels Nielsen (professor i geografi) samt direktør for Meteorologisk Institut, Helge Petersen. Sammensætningen af dette udvalg

⁷⁵ Ibid.

⁷⁶ Lidgaard (1999), p. 491ff. Særligt basen ved Søndre Strømfjord og – som der vil blive set på i kapitel 3 – basen ved Thule, blev udbygget i 1950'erne.

⁷⁷ Københavns Universitet (1964), p. 282.

understreger i sig selv den tværfaglighed, der er karakteristisk for de geofysiske videnskaber. Det er svært – hvis ikke umuligt – at trække klare grænser, både hvad angår genstandsområde og de anvendte metoder, mellem videnskaber som f.eks. meteorologi, geofysik, oceanografi og seismologi. Netop denne tværfaglighed lagde udvalget også vægt på, da de ud over at anbefale oprettelsen af et professorat i meteorologi tillige opfordrede til, at der oprettedes et professorat i geofysik, da ”en frugtbar udvikling af det meteorologiske studium her i landet i det lange løb bedst opnås, når man tillige muliggør et studium af tilgrænsende discipliner”.⁷⁸ Baggrunden, for at et professorat i netop geofysik skulle oprettes, var, at ligesom et professorat i meteorologi skulle sikre tilgangen af kvalificerede medarbejdere til Meteorologisk Institut, så skulle et professorat i geofysik sørge for kvalificerede kandidater til arbejdet på Geodætisk Institut. Som det vil blive diskuteret i det næste afsnit, var der i de foregående år sket en stor udvikling inden for det geofysiske område, da der var udviklet en række metoder, som gav nye muligheder for kvantitative studier i geofysikken. Det var især Niels Bohr, som anvendte dette som et argument for et professorat i geofysik, da han her så muligheden for at befrugte geovidenskaberne med anvendelsen af fysiske metoder, ligesom det var sket med biologien i 1930’erne. Selvom udvalgets anbefaling af oprettelsen af to professorater tiltrådtes af fakultetet, blev der kun bevilget et professorat i teoretisk meteorologi. Det skyldes sandsynligvis, at der ikke var samme politiske pres for oprettelsen af et professorat i geofysik.

Først i slutningen af 1951 blev sagen om professoratet i geofysik taget op på ny, denne gang tillige med begrundelsen, at Danmark inden for den geofysiske forskning i Grønland ”står...over for forpligtelser af stor videnskabelig, praktisk og national interesse”,⁷⁹ hvilket minder om den begrundelse, der oprindeligt var for oprettelsen af professoratet i meteorologi. Niels Bohr har dog også haft en skjult dagsorden ved at støtte oprettelsen af et professorat, da han tidligere havde

⁷⁸ Ibid. p. 285.

⁷⁹ Københavns Universitet (1966), p. 88.

tilkendegivet, at han ønskede, ”at der oprettes et professorat i magnetisme, da man har en fremragende mand inden for det område, som man ellers ikke kan få placeret”.⁸⁰ Denne mand var fysikeren Niels Arley, og han var da også blandt de fire ansøgere til professoratet, da det blev opslået i 1952. Arleys erfaring inden for geofysikken var begrænset til nogle tidligere studier af den kosmiske stråling samt nogle mislykkede målinger af jordmagnetisme under Galathea-dybhave-ekspeditionen. Han skrev derfor om sig selv i ansøgningen, at ”geofysik således er et ganske fremmed felt for mig i de senere år”.⁸¹

Professoratet i geofysik udsprang således af det fokus, der var på dansk geofysisk forskning i Grønland i kølvandet på anden verdenskrig, samt ønsket om en generel styrkelse af de geofysiske videnskaber på Universitetet og Niels Bohrs ønske om et professorat til Niels Arley. Der var ikke specificeret særlige områder af geofysikken, der skulle lægges vægt på i professoratets besættelse, og da det geofysiske område er meget omfattende og vanskeligt definerbart, var der lagt op til en diskussion om ansøgernes kvalifikationer i forhold til ambitionerne med professoratet. Der er ingen tvivl om, at Niels Bohrs opbakning af Arley har haft stor betydning for udvalgets vurdering, og flertallet angav da også Arley som den mest kvalificerede. I bedømmelsesudvalget sad også geologiprofessor Arne Noe-Nygaard, der som den eneste ikke kunne tilslutte sig indstillingen af Arley. Noe-Nygaard lagde vægt på, at professoratet i geofysik måtte fokusere på de behov for udforskningen af Grønland, der også havde foranlediget professoratet i meteorologi. Det geofysiske arbejde ved Universitetet skulle således ligge i forlængelse af de geologiske studier af Grønland, der havde været foretaget siden starten af århundredet. Som en mere kvalificeret kandidat til professoratet pegede Noe-Nygaard på statsgeodæten Inge Lehmann, der var internationalt anerkendt for sine seismologiske studier, der bl.a. havde ført til opdagelsen af Jordens indre kerne.

⁸⁰ Referat af 12. møde i Kommissionen vedr. den danske vejrteneste, 1950 (Meteorologisk Instituts arkiv, Rigsarkivet), p. 11.

⁸¹ Fakultetsmødereferat, 2. juni 1951 (KU, Naturvidenskabeligt Fakultets arkiv, Rigsarkivet).

Debatten om professoratets besættelse kom derfor til at stå om to kandidater, hvoraf den ene, Inge Lehmann, var højt estimeret og repræsenterede et område af den traditionelle geofysik, mens den anden, Niels Arley, ikke havde et særligt indgående kendskab til mange af geofysikkens områder, men til gengæld havde en solid baggrund inden for fysikken, der i de foregående år havde bidraget med meget nyt til studierne af det geofysiske system. De fleste af fakultetsrådets medlemmer, der skulle tage stilling til bedømmelsesudvalgets vurdering af kandidaterne til professoratet, var enige med flertallet i bedømmelsesudvalget om, at det var vigtigt, at professoratet blev besat af en fysiker, så man kunne drage nytte af den udvikling af geofysikken, som atomfysikkens fremgang havde forårsaget. En af dem, der støttede denne holdning, var professor Fjörtoft. Dog var der også mange, der udtrykte betænkeligheder ved Arleys faglige kvalifikationer og særligt ved hans faglige dømmekraft, når det drejede sig om tværfaglige studier: ”Om hans medvirken ved de biologiske arbejder kan man sige, at den har skuffet” og ”hvis dr. Arleys eventuelle anvendelser af atomfysikken i fremtiden bliver af lignende art, bliver man meget bekymret”.⁸² Fakultetsrådet nåede aldrig en konklusion, da Arley pga. den hårde kritik trak sin ansøgning tilbage. Det blev herefter besluttet at udskyde besættelsen af professoratet, og først efter en ny ansøgningsrunde i 1964 blev professoratet besat.⁸³ Kandidaterne til professoratet fordelte sig denne gang med tre geodæter, en meteorolog og en civilingeniør med speciale i ionosfærefysik. Den mulighed for at indføre den moderne fysiks metoder i geofysiske studier, som Arley ved den første runde havde repræsenteret, lod derfor til at være forpasset. Den 12. januar blev statsgeodæt Henry Jensen, der hidtil havde ledet den seismiske afdeling ved Geodætisk Institut, udnævnt til professor i geofysik ved Københavns Universitet.

⁸² Ibid. p. 8.

⁸³ Københavns Universitet (1966), p. 98ff. Allerede i 1957 blev professoratet opslået igen, men da et af medlemmerne af bedømmelsesudvalget døde, og flere af ansøgerne efterfølgende fik andre stillinger eller passerede pensionsalderen, blev besættelsen af professoratet udskudt flere gange.

2.4 Nye metoder i geofysikken

Før anden verdenskrig var studier af klimaet og af det geofysiske system generelt karakteriseret ved at være af beskrivende art, som f.eks. de palæobotaniske studier, der dokumenterede en vekslen mellem kolde og varme perioder, eller som Ahlmanns gletscherstudier, der påviste gletschernes generelle tilbagetrækning. Fælles for mange af disse studier var, at de ikke opstillede fysiske mekanismer, der kunne forklare de beskrevne fænomener, og at de ikke gav nogle kvantitative resultater om f.eks. klimaperiodernes varighed, og om hvornår de fandt sted. I løbet af 1930'erne gennemgik atom- og kernefysikken en hastig udvikling, der bl.a. resulterede i en række nye metoder, der også fandt anvendelse uden for kernefysikken, deriblandt inden for geovidenskaberne. Disse metoder blev yderligere forfinet under anden verdenskrig, hvor Manhattanprojektet, der resulterede i udviklingen af atombomben, stimulerede forskningen i atom- og kernefysik. Efter krigen vandt de nye metoder indpas i geovidenskaberne og åbnede op for et væld af nye muligheder i studiet af det geofysiske system. Selvom en stor del af de nye metoder blev udviklet i USA, var Danmark et af de lande, der var længst fremme i implementeringen af de nye muligheder.

2.4.1 Kulstof-14 datering

En af de metoder, der blev udviklet som et led i kernefysikkens udvikling i 1930'erne, og som senere fandt anvendelse inden for geofysikken, var kulstof-14 metoden. I 1939 var det blevet påvist, at den kosmiske stråling – en strøm af højenergetiske partikler fra rummet – danner kulstof-14, når den trænger ned i Jordens atmosfære.⁸⁴ Kulstofforbindelser indgår i en lang række biologiske processer, og levende organismer vil derfor optage kulstof-14 fra atmosfæren, og de får et kulstof-14 indhold, der er i ligevægt med atmosfærens. Da kulstof-14 er radioaktivt med en halveringstid på 5730 år, vil mængden af kulstof-14 aftage efter en organismes død, og den resterende mængde på et givet tidspunkt er en indikator

⁸⁴ Libby (1960).

for, hvornår organismen døde. Anvendelsen af kulstof-14 analyse som dateringsværktøj, blev taget op af fysikeren Willard Libby ved University of Chicago. Det største problem ved at anvende metoden i praksis var, at man på dette tidspunkt – omkring 1940 – ikke havde instrumenter, der kunne skelne de små mængder radioaktivitet, som kulstof-14 i organisk materiale forårsagede, fra baggrundsstrålingen. Derfor arbejdede Libby og hans gruppe både under og efter krigen på at forbedre målemetoderne. Denne forskning var en del af den bølge af atom- og kernefysisk forskning, som modtog rigelig støtte i perioden under og efter anden verdenskrig, og som megen anden forskning blev kulstof-14 forskningen efter krigen bl.a. finansieret af militæret, da nøjagtige målinger af kulstof-14 også kunne bruges til at spore sovjetiske atomprøvesprængninger.⁸⁵

Libbys bestræbelser på at gøre dateringsmetoden praktisk anvendelig skyldtes i høj grad dens lovende perspektiver inden for arkæologien, hvor f.eks. gamle mumier og rester af bygningsværker af træ kunne dateres med få århundreders eller årtiers præcision. Allerede i starten af 1950'erne blev metoden også anvendt inden for andre områder; bl.a. inden for oceanografien, hvor den kunne bruges til at studere strømningerne i verdenshavene. Da vandet i dybhavet er adskilt fra atmosfæren og derfor ikke får tilført kulstof-14, kunne dateringer af havvand give information om oceanernes omrøringstid.⁸⁶ Også inden for geologien var der perspektiver i metoden, da den kunne anvendes til at datere aflejringer fra de sidste 40-50.000 år. Udviklingen af kulstof-14 metoden muliggjorde derfor kvantitative undersøgelser af de geofysiske processer, som man hidtil kun havde studeret på et beskrivende plan.

Det var først i 1950, at Libbys gruppe i Chicago havde forfinet målemetoderne tilstrækkeligt til, at kulstof-14 metoden kunne bruges i større udstrækning, og allerede året efter begyndte man i Danmark at diskutere muligheden for et dansk

⁸⁵ Weart (2001), p. 30.

⁸⁶ Libby (1960), p. 606.

dateringslaboratorium.⁸⁷ Grunden til, at man netop i Danmark var så langt fremme med indførelsen af den nye metode, var i høj grad, at der i København var et internationalt miljø inden for fysikken. Universitetets Institut for Teoretisk Fysik (UITF), hvor Niels Bohr sad som professor, var stadig et verdenscentrum for fysik, og her havde man en lang tradition for anvendelsen af fysiske metoder i tværfaglige studier. Bl.a. havde George de Hevesy og Hilde Levi, der var tilknyttet UITF, i 1930'erne udviklet en metode, hvor man anvendte radioaktive isotoper som tracere i studiet af biologiske processer, og netop i forlængelse af denne tværfaglige forskning havde Hilde Levi i 1947 været på et ophold hos Willard Libby i USA for at studere den nye kulstof-14 metode.

Det var arkæologer og geologer, der samstemmende opfordrede til oprettelsen af et dansk dateringslaboratorium, og det førte til, at man i starten af 1951 afholdt en række såkaldte "isotopkollokvier", hvor muligheden for et dateringslaboratorium blev diskuteret. Kollokvierne blev holdt på Universitetets Zoofysiologiske Laboratorium på Rockefeller Instituttet, hvor også Dansgaard var blevet ansat ved det Biofysiske Laboratorium nogle måneder forinden. På deltagerlisten fra isotopkollokviet den 13. februar 1951 stod således både Willi Dansgaard og botanikeren Johannes Iversen, geologen Arne Noe-Nygaard, Niels Bohr og en lang række andre, hvilket understreger den opbakning på tværs af discipliner, der var til oprettelsen af et dateringslaboratorium. På netop dette møde udtrykte også Bohr i klare vendinger sin støtte til oprettelsen af et dateringslaboratorium, og det har sikkert været udslagsgivende for den efterfølgende beslutning om oprettelsen af en sådan facilitet. Laboratoriet blev oprettet i et samarbejde mellem Nationalmuseet og Danmarks Geologiske Undersøgelse, der hver især repræsenterede hhv. arkæologiens og geologiens interesse i den nye metode. Ingen af institutionerne

⁸⁷ Det følgende bygger i stor udstrækning på Levi (1976).

havde dog de fysiske rammer til at huse laboratoriet, og det kom derfor til at ligge i kælderetagen i Rockefellerbygningen.⁸⁸

De danske planer blev som nævnt sat i gang meget hurtigt efter kulstof-14 metodens udvikling, og faktisk var det danske dateringslaboratorium det første af sin art uden for USA. Noget af det, der var med til at sikre en succesfuld indførelse af metoden i Danmark, var de kontakter, Hilde Levi havde til Libbys gruppe i Chicago. Gennem Levi lykkedes det at overtale Libbys nære medarbejder, Ernest Anderson, til at komme til Danmark og stå for opbygningen af laboratoriet, og i maj 1952 var man klar til at foretage de første dateringer.

Mens kulstof-14 metoden internationalt set fik sin største betydning inden for arkæologien, så vidner oprettelsen af dateringslaboratoriet i Danmark om en stor interesse for metoden fra de geologiske videnskaber, der – repræsenteret af DGU – indgik på lige fod med Nationalmuseet i planlægningen af laboratoriet. Det første, der blev analyseret, var således nogle af Johannes Iversens prøver af aflejringer fra Allerød-varmepærioden og den koldere ”Yngre Dryas”-periode, og disse analyser viste, at overgangen mellem de to perioder fandt sted for 10.890 år siden, og at overgangen, der indebar en temperaturstigning på 4°C, fandt sted inden for 100 år.⁸⁹ Dette resultat var et af de første eksempler på kvantitative bestemmelser af fortidens klimavariationer.

2.4.2 Massespektroskopi og stabile isotoper

En anden metode, der fik stor betydning for geofysikkens udvikling efter anden verdenskrig, havde også sine rødder i kernefysikkens udvikling i 1930’erne. Denne metode var massespektroskopien. Allerede siden starten af århundredet havde man kendt til, at hvert grundstof kan forekomme i forskellige udgaver med varierende masse, såkaldte isotoper. Op gennem 1920’erne og 1930’erne havde man udviklet massespektrometre, der kunne skelne de forskellige isotoper, men først med

⁸⁸ Lederen af dateringslaboratoriet blev den unge fysiker Henrik Tauber, der forblev i stillingen i knap fire årtier og derved var toneangivende inden for kulstof-14 forskningen i Danmark.

⁸⁹ Tauber (1976), p. 416.

opdagelsen af neutronen i 1932 blev det slået fast, at de forskellige isotoper skyldes et varierende antal neutroner i et givent grundstofs atomkerne.

Massespektrometrene blev yderligere forbedret op gennem 1930'erne, og man identificerede en række hidtil ukendte isotoper.⁹⁰ Massespektroskopien havde som metode stor grundvidenskabelig interesse, men den fandt også hurtig anvendelse inden for geofysiske problemer. Et af de ældste spørgsmål både i naturvidenskaben og generelt har været spørgsmålet om Jordens alder. I flere årtusinder har man forsøgt at besvare dette spørgsmål primært med religiøse eller filosofiske argumenter, og først i slutningen af 1800-tallet begyndte det at blive muligt at give et videnskabeligt svar. Netop i 1800-tallet var spørgsmålet om Jordens alder centralt, da både den moderne geologis uniformitaristiske teorier om Jordens udvikling⁹¹ og Darwins udviklingslære krævede, at Jorden havde eksisteret i mange millioner og måske milliarder år. Den berømte Lord Kelvin var en af de videnskabsmænd, der i slutningen af 1800-tallet forsøgte at fastslå Jordens alder ved at estimere, hvor lang tid det ville tage for et legeme som Jorden at størkne, hvis man antog, at Jorden var startet som en flydende klippemasse. Kelvin nåede i første omgang frem til, at Jorden måtte være omkring 100 millioner år gammel, men i 1892 revurderede han denne værdi til 20-40 millioner, hvilket ikke var tilstrækkeligt til, at evolutionens og den moderne geologis mekanismer kunne have udfoldet sig og udviklet den verden, vi ser i dag.⁹² Kelvin var en af sin tids mest respekterede videnskabsmænd, og hans teorier fik derfor stor opmærksomhed og gav anledning til megen debat, men de fik ikke lov at stå længe. I 1896 opdagede franskmænd Henri Becquerel radioaktivitet, og man indså hurtigt, at dette fænomen kunne udnyttes til at foretage direkte målinger af Jordens alder. Derudover betød tilstedeværelsen af radioaktivt materiale, at Jorden havde en indre varmekilde, og

⁹⁰ Nier (1981), p. 4.

⁹¹ Den uniformitaristiske tanke blev første gang formuleret af Charles Lyell og går i sin simpleste form ud på, at de mekanismer, der har styret Jordens udvikling, er de samme, som dem vi kan observere i naturen i dag. En konsekvens af dette er, at forandringer på Jordens overflade altid er foregået i samme tempo. Oldroyd (1996), p. 136.

⁹² Ibid., p. 142ff.

Kelvins beregninger af Jordens afkølingstid holdt derfor ikke. Ved at måle på klippers indhold af det radioaktive uran og dets henfaldsprodukter blev det muligt at fastslå, at Jorden var flere milliarder år gammel, og konflikten mellem evolutionens og geologiens tidsskalaer ophørte.

I starten af 1930'erne blev spørgsmålet om Jordens alder aktuelt igen; nye astronomiske resultater tydede på, at hele Universet kun var et par milliarder år gammelt og dermed på alder med eller yngre end Jorden.⁹³ Denne indlysende uoverensstemmelse kunne bl.a. massespektroskopien medvirke til at løse. Når urans radioaktive henfald skulle udnyttes til at bestemme Jordens alder, skulle man også måle på urans henfaldsprodukt, bly. Ved hjælp af massespektroskopien blev det muligt at skelne mellem det bly, der var dannet ved urans henfald og det bly, der naturligt forekommer i naturen, og man kunne derved bestemme Jordens alder mere præcist. Det blev dog en revurdering af de astronomiske resultater, der løste den umiddelbare konflikt.

Massespektroskopis præcise aldersbestemmelser illustrerede dens styrke i geofysiske studier, men metoden nåede ikke at blive udbredt, før anden verdenskrigs udbrud fik forskningen til at bevæge sig i andre retninger. Under anden verdenskrig spillede massespektroskopien en central rolle, da en af de største tekniske udfordringer ved at konstruere en atombombe var at skelne og adskille de to isotoper uran-235 og uran-238. I forbindelse med Manhattanprojektet var der derfor en stor gruppe fysikere og ingeniører, der arbejdede på at forbedre og udnytte massespektroskopien i forsøget på at fremstille det berigede uran, der skulle bruges i en bombe. Som bekendt lykkedes det at fremstille atombomber, og deres anvendelse førte til den endelige afslutning af krigen i august 1945.

Efter krigen var der som følge af Manhattanprojektet oparbejdet en stor ekspertise inden for atom- og kernefysisk forskning. Særligt ved University of Chicago havde man specialiseret sig i massespektroskopien, og da der ikke længere var så stort et behov for målrettet forskning – på den måde, som det havde været

⁹³ Dole (1996), p. 40f.

gennemført i Manhattanprojektet – vendte en del af forskerne sig mod nye områder, hvor de metoder, de havde arbejdet med under krigen, kunne finde anvendelse. I Chicago oprettedes i 1946 et ”Institute for Nuclear Studies”, der skulle blive et centrum og foregangseksempel for den geofysiske og geokemiske forskning, hvor kernefysikkens metoder – og i særdeleshed massespektroskopien – skulle revolutionere studiet af det geofysiske system. Som historikeren Ronald Dole har beskrevet det: ”The geochemical revolution that began at Chicago...sent shock waves across the intellectual and institutional landscape of the earth sciences”.⁹⁴

2.4.3 Bestemmelse af palæotemperaturer

Harold Urey, der i 1934 havde modtaget Nobelprisen for opdagelsen af den tunge brint-isotop, deuterium, var en af de fysikere, der under krigen havde arbejdet med separationen af de to uranisotoper. Efter krigen var han med til at opbygge det centrum for geofysik og –kemi, der voksede frem i Chicago. Urey arbejdede fortsat med isotoper, men vendte sig nu mod studiet af isotopers forekomst i naturen, og især variationerne heri. Isotoper af et givent grundstof er defineret ved, at de har samme kemiske egenskaber, da de har samme elektronstruktur, men pga. den varierende masse vil forskellige isotoper opføre sig forskelligt i en *termodynamisk* proces. Da mange af de processer, der foregår i naturen – og særligt dem, der har med vejr og klima at gøre – er termodynamiske, kan viden om isotopers termodynamiske egenskaber give indsigt i det geofysiske system. Urey fremlagde i 1946 i et foredrag for *The Chemical Society* resultaterne af et udførligt studie af mange af de naturligt forekommende isotopers termodynamiske egenskaber.⁹⁵ Ud over en grundig teoretisk gennemgang af forskellige isotopers termodynamiske egenskaber, kom Urey også med bud på, hvordan disse egenskaber kunne udnyttes til at få information om det geofysiske system. En af de effekter, som Urey påpegede, var, at den isotopiske sammensætning af kalkaflejringer afhænger af vandtemperaturen på det tidspunkt, hvor aflejringer finder sted. Han viste, at det primært er indholdet

⁹⁴ Ibid., p. 79.

⁹⁵ Urey (1947).

af den tunge iltisotop ^{18}O i kalkforbindelserne, der varierer med temperaturen. Urey foreslog derfor, at en undersøgelse af den isotopiske sammensætning af kalkholdige klipper, kunne give informationer om temperaturen på det tidspunkt, hvor klippen var dannet.⁹⁶

Ureys præliminære idéer dannede grundlag for fortsatte studier ved instituttet i Chicago, og særligt den unge kemiker Samuel Epstein specialiserede sig i de massespektroskopiske analyser af ^{18}O -indholdet i prøver. Ligesom problemet med den praktiske anvendelse af kulstof-14 metoden havde været, at man ikke havde detektorer, der kunne måle de små mængder radioaktivitet, der var involveret, var det også en teknisk udfordring i forbindelse med isotopstudierne at konstruere massespektrometre, der kunne måle de små variationer i ^{18}O -indholdet, der forekommer i naturen.⁹⁷ I 1950 var det dog lykkedes Ureys gruppe at konstruere et sådant spektrometer, og de kunne derfor afprøve de idéer, som Urey havde fremsat allerede i 1946. Urey og Epstein studerede i samarbejde med en palæontolog tre belemnitter, der er en uddød blæksprutteart, hvis indre kalkskaller man i dag kan genfinde i aflejringer fra jura- og kridttiden for mellem 250 og 65 millioner år siden.⁹⁸ I disse belemnitter aflejres der gennem hele deres levetid kalk på den indre skal, der udgør deres skelet. Ifølge Ureys teori skulle ^{18}O -indholdet i belemnitternes kalkskeletter være en indikator for havtemperaturen på det tidspunkt, hvor kalken blev aflejret. Urey og Epstein analyserede kalken fra belemnitter fra USA og England samt tre belemnitter fra Møns og Stevns klinte, som var stillet til rådighed af Geologisk Museum i København. Det vigtigste resultat af disse analyser var, at de gav enslydende bestemmelser af temperaturen, der for alle belemnitterne lå omkring 15° - 16°C . Dette var et sandsynligt resultat for den varme kridttid, som belemnitterne stammede fra, og det talte for metodens anvendelighed i praksis, at den gav konsistente resultater.

⁹⁶ Ibid. p. 578.

⁹⁷ Artiklen af Urey *et al.* (1951) omhandler dette problem.

⁹⁸ Belemnitters aflejrte kalkskeletter er også det, der kendes som *vattelys*.



Figur 8. Belemnit

Som nævnt aflejreredes kalken kontinuert på belemnitternes kalkskaller, og ved at analysere ^{18}O -indholdet i kalkforbindelserne i et tværsnit af belemnitterne kunne Urey og Epstein tillige måle temperaturvariationerne gennem belemnittens levetid. Herved påviste de årlige svingninger i havtemperaturen, og de kunne endda fastslå, at en over 150 millioner år gammel belemnit havde levet i fire år, og var død om foråret(!). Dette var videnskabeligt set ikke et interessant resultat, men det understregede metodens nøjagtighed selv over meget lange tidsskalaer.

I starten af 1950'erne havde Ureys gruppe ved University of Chicago således udviklet massespektrometre, der kunne måle tilstrækkeligt nøjagtigt til at påvise de promillevisе ændringer i de kalkskallede dyrs ^{18}O -indhold, der var en konsekvens af fortidens temperaturændringer. Hvis metoden skulle anvendes til at bestemme temperaturændringer over længere perioder, var man dog nødt til at forudsætte, at den isotopiske sammensætning af vandet i oceanerne havde været uændret gennem tiden. Hvis ikke det var tilfældet, måtte man prøve at forstå ændringerne i $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indholdet i havvand, så der kunne korrigeres for dette i målingerne. Ved at undersøge den isotopiske sammensætning af et stort antal prøver af havvand

påviste Samuel Epstein, at $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indholdet varierer op til ti gange mere fra sted til sted, end den variation som en temperaturændring på 1°C forårsager i ^{18}O -indholdet i kalkskallen på et dyr i havet.⁹⁹ Epstein regnede dog ikke som Willi Dansgaard i absolutte $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -koncentrationer, men angav i stedet indholdet af $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ i forhold til en veldefineret standard. Afbigelsen fra denne standard blev angivet i promille og betegnet δ . Lave δ svarer således til et relativt lavt $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indhold. Dansgaard tog denne betegnelse til sig i slutningen af 1960'erne, men da den er mere bekvem, vil jeg anvende den fremover.

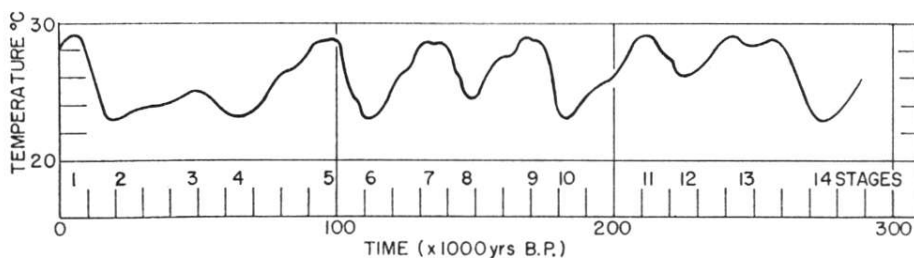
De store variationer i havvandets δ -værdi betød, at isotopmetoden var nytteløs til at bestemme temperaturer, hvis ikke man kunne forstå og korrigere for denne variation. Epstein viste endvidere, at der er en nær sammenhæng mellem vandets δ -værdi og saliniteten af havvandet i et givent område. Dette skyldes, at begge parametre er påvirket af den samme proces: Når der foregår fordampning fra havoverfladen, vil vandets salinitet stige, da det er ferskvand, der fordamper, og tilsvarende vil havvandets δ -værdi stige, da vandmolekylerne med ^{16}O vil have en større tendens til at fordampe end molekyler med ^{18}O , da $\text{H}_2(^{16}\text{O})$ har et højere damptryk. I de tropiske egne, hvor der er høj fordampning, konstaterede Epstein relativt høje δ -værdier, og jo længere mod nord en vandprøve var taget, jo lavere δ havde de. Det overordnede mønster blev dog forstyrret af, at nord-sydgående havstrømme, som f.eks. Golfstrømmen, transporterer vand med høj δ -værdi fra de tropiske egne og op i Nordatlanten og af, at smeltevand (med lave δ -værdier) fra iskapperne på den nordlige halvkugle sænker $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indholdet i havet.

Epsteins studier viste således, at der var nogle overordnede variationer i oceanernes isotopiske sammensætning, som kunne beskrives kvalitativt, men som Epstein tidligere havde påpeget, var "[t]he whole problem of water evaporation from the oceans and its precipitation over the land and oceans...very complex, and

⁹⁹ Epstein *et al.* (1953).

our data are not sufficiently extensive to justify a more detailed discussion".¹⁰⁰ Det var denne mere detaljerede beskrivelse, der også tog højde for vandcirkulationen i atmosfæren, som Willi Dansgaard senere skulle bidrage med.

På trods af usikkerhederne omkring fortidige variationer i havenes δ -værdi, fortsatte Ureys gruppe studierne af ^{18}O -indholdet i kalkskallerne på havdyr. Det var den unge italiener Cesare Emiliani, der i 1950 var kommet til Ureys geokemiske laboratorium ved Institute of Nuclear Studies, der kom til at anvende isotopmetoden til systematisk at bestemme fortidens variationer i havtemperaturen.¹⁰¹ Emiliani studerede en særlig gruppe havdyr, de såkaldte foraminiferer, der er encellede dyr med en skal af kalk. Når disse dyr dør, falder de til bunds i havet, og deres skaller aflejres på havbunden. Ved at studere det varierende ^{18}O -indhold i de aflejrte foraminiferers kalkskaller, kunne Emiliani rekonstruere temperaturvariationerne i havet flere hundrede tusind år tilbage i tiden.



Figur 9. Emilianis temperaturkurve fra 1955. Kurven rækker næsten 300.000 år tilbage i tiden, og man ser tydeligt en vekslen mellem istider – hvor de tropiske foraminiferer indikerer en havtemperatur på godt 20 °C – og mellemistider, hvor havtemperaturen var nærmere 30 °C. Senere viste Willi Dansgaard i samarbejde med Henrik Tauber og englænderen Nicholas Shackleton, at isotopændringerne i foraminiferernes skaller i højere grad skyldes en ændring i havvandets δ som følge af ophobning af ^{18}O -fattigt nedbør i Jordens iskapper. Kurven beskriver derfor nærmere ændringerne i Jordens isdække, der dog også hænger sammen med temperaturen.

¹⁰⁰ Epstein *et al.* (1951).

¹⁰¹ Emiliani (1955).

Emilianis resultater var banebrydende for den palæoklimatiske forskning, da det var første gang man fik en kontinuert kurve, der beskrev de absolutte temperaturændringer så langt tilbage i tiden.¹⁰²

2.5 Opsamling

Vi kan nu vende tilbage til spørgsmålet om, hvorfor det netop var i starten af 1950'erne, og hvorfor det netop var i Danmark, at idéen om at studere den isotopiske sammensætning af den grønlandske indlandsis for at få indsigt i fortidens klimaforandringer blev undfanget.

Som vi har set, var årene og årtierne efter anden verdenskrig en periode med en generelt stor støtte til naturvidenskabelig forskning, hvilket i høj grad bundede i naturvidenskabens succes under krigen, hvor udviklingen af både atombomben og radaren havde haft afgørende betydning. Den ekspertise, der var blevet opbygget inden for fysikken og dens metoder, fandt efter krigen anvendelse inden for en række andre videnskaber, der hidtil havde benyttet sig af mere kvalitative metoder. Indførelsen af fysiske metoder som f.eks. massespektroskopi var således ikke unik for geovidenskaberne, men kan i lige så stor udstrækning genfindes i f.eks. de biologiske videnskaber. Tiden omkring 1950 var dog en periode, hvor der var særlig opmærksomhed omkring klimaet, da man allerede siden slutningen af 1930'erne havde observeret ændringer i klimaet, som havde fået konsekvenser for bl.a. landbruget og det grønlandske fiskeri.

De kvantitative, fysiske metoder blev således mange steder anvendt til at studere geofysiske problemer, selvom udgangspunkterne kunne variere betydeligt. Harold Ureys studier af fortidens temperaturvariationer bundede i et ønske om at undersøge, om dinosaurernes uddøen for ca. 65 mio. år siden skyldtes en voldsom temperaturændring, men metoden skulle senere vise sig mest anvendelig til at konstruere temperaturkurver, der gik nogle hundrede tusind år tilbage i tiden.¹⁰³

¹⁰² Willi Dansgaard opholdt sig i 1953 ved Ureys laboratorium og mødte ved denne lejlighed Emiliani, som han siden havde løbende kontakt med.

¹⁰³ Epstein (1997), p. 8.

Også i Danmark blev de nye metoder anvendt til at studere fortidens klimaændringer. Netop fordi der inden for dansk botanik var en stærk tradition for palæoklimatiske studier, blev den nyudviklede kulstof-14 metode i stor udstrækning anvendt til at datere de aflejringer, som botanikerne i de foregående årtier havde undersøgt.

De geofysiske fags fremgang i efterkrigsårene var altså en international tendens, men hvis man ser nærmere på Danmark, viser det sig, at de nye tendenser havde særlig gode vilkår for at slå igennem her. København var i forvejen et verdenscentrum i fysik, hvor mange af århundredets største fysikere havde opholdt sig i kortere eller længere perioder, og indførelsen af fysiske metoder i geovidenskaberne lå derfor helt i den danske ånd. Dette ses især i forbindelse med oprettelsen af professoratet i geofysik, hvor Niels Bohr kæmpede for, at en fysiker skulle komme til at besætte professoratet.

I kraft af Grønlands status som dansk koloni og klimaændringernes betydning for det grønlandske fiskeri var der i Danmark særlig stor opmærksomhed omkring de tilsyneladende klimaændringer i det 20. århundredes første halvdel. Dette kombineret med fremgangen for de geofysiske fag og særligt indførelsen af nye kvantitative metoder underbygger, at der i Danmark var yderst gunstige forhold for at anvende de nye faglige muligheder i klimarelaterede studier.

Kapitel 3. Fra biofysik til Indlandsisens bund

I starten af 1950'erne var de geofysiske fag i fremgang, og der var en voksende opmærksomhed omkring klimaændringerne, som var begyndt at få konsekvenser for både landbrug og fiskeri. I Danmark skulle en ung fysiker kombinere de nye muligheder inden for den geofysiske forskning med interessen for klimasystemet og derigennem lægge grunden til et nyt forskningsområde, der i de kommende årtier ville revolutionere vores forståelse af klimaets udvikling. Denne unge fysiker var Willi Dansgaard.

Willi Dansgaard blev født i 1922 på Amager, hvor begge hans forældre arbejdede som gravører. Efter at have taget studentereksamen fra Efterslægtens Skole i 1941 blev han indskrevet som studerende ved Københavns Universitet i fagene matematik, fysik, kemi og astronomi. På dette tidspunkt foregik en del af undervisningen i de naturvidenskabelige fag på Polyteknisk Lærestanstalt sammen med de ingeniørstuderende, hvilket gjorde studiet noget uorganiseret. Dansgaard har selv sagt, at de første år var hårde, og at han "[m]ed megen møje stred [sig] gennem de første 2½ år".¹⁰⁴ Allerede tidligt i studiet var det klart for Dansgaard, at det var fysikkens *anvendelse* han fandt mest spændende, og da han skulle specialisere sig, valgte han derfor hovedfag i eksperimentel fysik og speciale i biofysik.¹⁰⁵ Derved blev han tilknyttet Universitetets Biofysiske Laboratorium, der lå i kælderen i Rockefellerkomplekset ved Fælledparken.

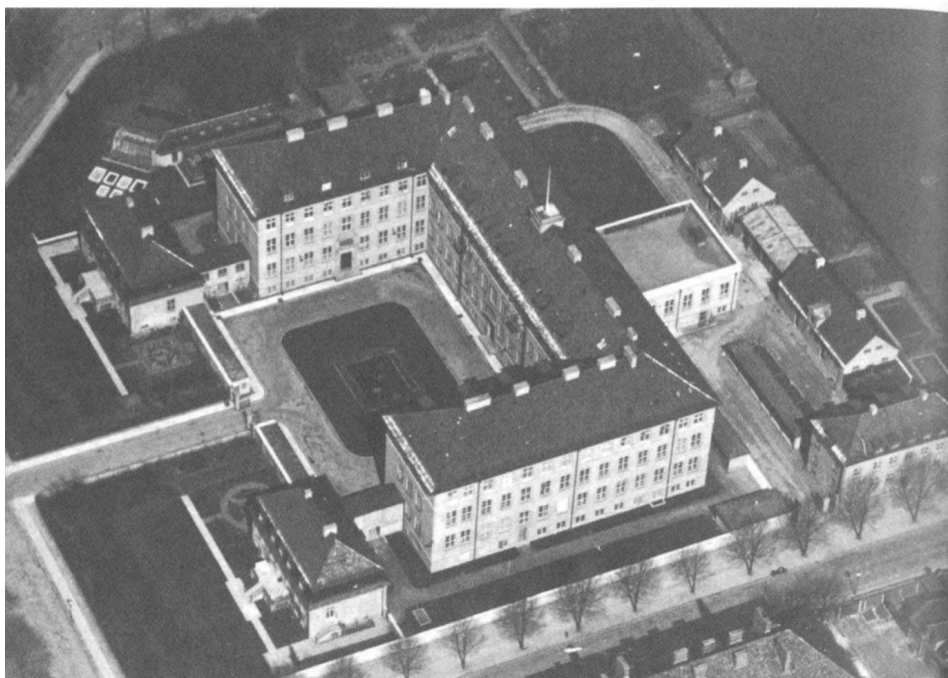
Lederen af laboratoriet var professor i fysik H. M. Hansen, der havde været primus motor bag laboratoriets oprettelse i forbindelse med opførelsen af Rockefellerkomplekset, der blev indviet i 1928. Laboratoriet havde nær tilknytning til det Medicinske Fakultet, da al fysikundervisning af de lægestuderende hørte til forpligtelserne ved H. M. Hansens professorat.¹⁰⁶ Den nære tilknytning til medicin havde også indflydelse på Willi Dansgaards studium, hvor han i 1946 løste en

¹⁰⁴ Dansgaard (2000), p. 9.

¹⁰⁵ Interview med Willi Dansgaard.

¹⁰⁶ Nielsen (2004).

prisopgave om dosismåling inden for strålebehandling – en prisopgave der indbragte ham Universitetets Guldmedalje. I det hele taget har Dansgaard fremhævet H. M. Hansen som en af de undervisere, der havde størst indflydelse på ham.



Figur 10. Rockefellerkomplekset.

I sommeren 1947 tog Willi Dansgaard sin embedseksamen fra Laboratoriet, og til sin afsluttende eksamen havde han bl.a. direktøren for Meteorologisk Institut, Helge Petersen, som censor. Efter eksaminationen tilbød Helge Petersen, at Dansgaard kunne få ansættelse ved Meteorologisk Institut med mulig udstationering i Grønland. Dansgaard takkede ja – en beslutning der fik stor betydning for hans efterfølgende karriere.

3.1 Grønland 1947-48

I årene efter anden verdenskrig var der mangel på akademikere på Meteorologisk Institut bl.a. som følge af udsendelsen af mandskab til stationerne i

Grønland. Da der ikke var en uddannelse i meteorologi, blev de fleste af medarbejderne i Institutets vejrtjeneste rekrutteret blandt de nyudklækkede magistre i fysik, der til gengæld blev tilbudt en forholdsvis høj løn.¹⁰⁷ Dansgaard var blot en af flere magistre fra sin årgang, der efterfølgende fik ansættelse ved Meteorologisk Institut, men i modsætning til flertallet, der blev ansat i den daglige vejrtjeneste, blev Dansgaard udstationeret ved Institutets magnetiske observatorium i Godhavn, Grønland.

Det magnetiske observatorium var oprettet i 1926 af Institutets daværende direktør, Dan la Cour. Observatoriet var et af direktørens hjertebørn, og han deltog selv aktivt i opførelsen af det.¹⁰⁸ Baggrunden for oprettelsen af et magnetisk observatorium var et ønske om kontinuerte målinger af Jordens magnetfelt. Sådanne målinger gav vigtige informationer både om Jordens indre og om ændringer i Solens magnetfelt – en støj der hele tiden forstyrrer Jordens magnetfelt – og målinger af denne art var yderst sparsomme i polaregnene. Derfor havde det længe været et ønske fra den Internationale Union for Geodæsi og Geofysik, at et magnetisk observatorium skulle opføres i Grønland.¹⁰⁹ La Cour fik støtte til projektet af den danske indenrigsminister Hauge, der på trods af observatoriets afsides beliggenhed deltog i grundstensnedlæggelsen i september 1925.

Efter en kort indkøringsfase blev den daglige ledelse af observatoriet overdraget til den unge magister Johannes Olsen. Olsen fortsatte som leder for observatoriet i seks år, før han vendte tilbage til Danmark til et job som statsmeteorolog på Meteorologisk Institut. Da Willi Dansgaard i 1947 skulle udsendes til Godhavn, var det Johannes Olsen, der skulle oplære ham som geomagnetiker, så han kunne deltage i observationsarbejdet under bestyreren af observatoriet, Knud Lassen. På trods af Willi Dansgaards uddannelse som biofysiker var det således som geofysiker, at han fik sin første ansættelse.

¹⁰⁷ Dansgaard (2000), p. 59.

¹⁰⁸ Meteorologisk Institut (1972), p. 278ff.

¹⁰⁹ Meteorologisk Institut (2003).



Figur 11. Kort over Grønland. Godhavn ligger på øen Disko ved Grønlands vestkyst. Byen kaldes i dag Qeqertarsuaq.

Få måneder før afrejsen til Godhavn blev Willi Dansgaard gift med Inge Thomsen, der fulgte med ham til den lille koloni. Godhavn, der ligger på sydsiden af Disko-øen, havde på dette tidspunkt omkring 400 indbyggere. Disko var oprindeligt dannet som et resultat af vulkansk aktivitet, hvilket havde givet øen nogle karakteristiske, lagdelte basaltfjelde. Derudover var jordvarmen på øen stadig så kraftig, at der var flere varme kilder, hvor beboerne året rundt kunne hente vand. Bag fjeldene, der omkransede byen ind mod land, lå den store Lyngmarksbræ. De fleste af koloniens indbyggere ernærede sig ved fiskeri, men derudover var Godhavn centrum for Nordgrønlands administration. Her boede landsfogeden for Nordgrønland og landsrådet for Nordgrønland havde sæde i kolonien. Ud over at være administrativt centrum var Godhavn også et centrum for polarforskning.

Foruden det magnetiske observatorium, husede kolonien Arktisk Station, der var oprettet af botanikeren Morten Porsild i 1906. Porsild var vendt tilbage til Danmark året før Willi Dansgaards ankomst, men da Stationen i 1953 blev overdraget til Universitetet blev dens funktion som botanisk og geologisk forskningsstation genoptaget og udvidet.



Figur 12. Det magnetiske observatorium i Godhavn.

Under sit ophold i Grønland oplevede Willi Dansgaard det grønlandske klima på nærmeste hold. Ofte kunne man fra Godhavn se store isfjelde, der drev rundt i Diskobugten, og flere gange var Dansgaard sammen med sin hustru på lange slædeture. I maj 1948 fik Dansgaard tillige mulighed for at sejle rundt til nogle af de andre kolonier og udsteder i Disko-området. På denne tur besøgte han bl.a. Jakobshavn, der ligger ved randen af Jakobshavn Isbræ, som er den mest produktive isbræ i hele verden. Ud gennem fjorden ved Jakobshavn driver gigantiske isfjelde, der gennem bræen er ført dertil fra et stort område af den vestgrønlandske indlandsis.

Da Inge og Willi Dansgaard i sommeren 1948 skulle rejse tilbage til Danmark, fik de også lejlighed til at komme ind at se Indlandsisen. Skibet M/S Disko skulle samle passagerer op i mange af kolonierne op langs vestkysten, og der skulle lastes nogle marmorblokke i en fjord nord for Disko-øen. Lastningen tog flere dage, og

passagererne fordrev derfor noget af tiden med en vandretur ind til Indlandsisen. Netop bunden af denne fjord havde også været udgangspunktet for Wegener-ekspeditionen i 1930, hvor deltagerne havde oprettet en station på Indlandsisens midte. Desværre omkom Wegener selv på tilbagerejsen fra stationen, men ved randen af isen kunne Diskos passagerer se resterne af ekspeditionens udstyr efterladt.¹¹⁰ Dette var et symbolsk møde mellem en af de største polarforskere i århundredets første halvdel og en polarforsker in spe. Willi Dansgaard havde ikke selv på dette tidspunkt nogen forudelse om, at hans karriere skulle bringe ham meget længere ind på isen, men han var meget fascineret af Grønland og har sagt, at han efter hjemkomsten kun ledte efter en undskyldning for at kunne tage derop igen.¹¹¹

3.2 Meteorologisk Institut

I første omgang var det et job ved Meteorologisk Institut, der ventede Willi Dansgaard. På dette tidspunkt rådede Meteorologisk Institut over nogle få lokaler på Esplanaden i København.

Instituttet var stadig påvirket af den ufrivillige pause i den almindelige vejrtjeneste, som krigen havde forårsaget. Man manglede ordentlig apparatur og var ikke direkte tilsluttet det internationale fjernskrivernet, hvorigennem meteorologiske observationer blev distribueret.¹¹² Dette kombineret med den manglende faglige uddannelse af meteorologerne resulterede ofte i en svingende kvalitet i de daglige vejrudsigter. Derudover var der som følge af krigen sket en rivende udvikling inden for meteorologien i mange andre lande – en udvikling som man slet ikke havde haft mulighed for at følge med i Danmark.

¹¹⁰ Dansgaard (2000), p. 52ff.

¹¹¹ Interview med Willi Dansgaard.

¹¹² Meteorologisk Institut (1972), p. 104.



Figur 13. Bygning i Gamlehave Allé, hvor Meteorologisk Institut flyttede ind i 1949.

Efter hjemkomsten fra Grønland blev Willi Dansgaard tilknyttet vejrtjenesten. Vejrtjenesten blev ledet af statsmeteorolog Leo Lysgaard, og her konstruerede man hver tredje time vejrkort med bl.a. det aktuelle tryk i forskellige lag i atmosfæren og lufttemperaturen. På baggrund af disse kort og kvalitative overvejelser vurderede meteorologerne vejrets udvikling i det kommende døgn. Dansgaard fandt jobbet interessant, ”mere spændende end geomagnetismen”, men han følte sig ikke godt tilpas i miljøet på Institutet.¹¹³ De begrænsede tekniske hjælpemidler og det manglende faglige miljø virkede hæmmende på de faglige udfoldelser, og Dansgaard følte til tider, at der var en decideret jantelovs-mentalitet på Institutet. Sideløbende med sin tjeneste på Meteorologisk Institut begyndte Dansgaard derfor at komme på Biofysisk Laboratorium, hvor han var uddannet.

¹¹³ Dansgaard (2000), p. 60.

3.3 Tilbage til biofysikken - for en stund

I starten af 1949 fik Willi Dansgaard mulighed for – sideløbende med sin ansættelse ved Meteorologisk Institut – at vende tilbage til Biofysisk Laboratorium, hvor nogle nyindkøbte instrumenter skulle stilles op og køres ind. Disse instrumenter var indkøbt for et lån, som den danske stat i 1947 optog hos Den Internationale Bank til genopbygningen af landet.¹¹⁴ Af de ca. 250 mio. kr., som lånet var på, var 2,2 mio. kr. øremærket til indkøb af forskningsudstyr, og disse midler blev administreret af Det teknisk-videnskabelige Forskningsråd, TVF. Et udvalg under TVF blev nedsat til formålet, og et af de fem medlemmer var Universitetets rektor, H. M. Hansen, der også var leder af det Biofysiske Laboratorium. H. M. Hansen havde således betydelig indflydelse på midlernes fordeling, hvilket sandsynligvis er en del af forklaringen på, at Biofysisk Laboratorium blev begunstiget med både et elektronmikroskop og et massespektrometer.¹¹⁵

Sammen med Marshall-hjælpen udgjorde lånet fra Den Internationale Bank en økonomisk saltvandsindsprøjtning til dansk forskning på knap 5 mio. kr. Sammenlignet med Den Polytekniske Lærestalts årlige driftsbevilling på ca. en tiendedel af denne sum, må det siges at være et ganske betydeligt beløb.¹¹⁶ De rigelige midler betød, at ikke alle anmodninger om nye instrumenter bundede i akutte behov – et forhold, der også skulle vise sig at være gældende for det Biofysiske Laboratoriums massespektrometer.

Tidligt i 1950 påbegyndte Willi Dansgaard arbejdet med at opstille det nye massespektrometer samtidig med, at han havde nattevagter i vejrtjenesten på Meteorologisk Institut. Da massespektrometret var klar til brug i september 1950, blev Dansgaard ansat som assistent ved laboratoriet og opsigede sin stilling i vejrtjenesten. Massespektrometret var af en type, der var blevet udviklet af den amerikanske fysiker Alfred Nier, og som kun kunne anvendes til at skelne isotoper,

¹¹⁴ Knudsen (2004).

¹¹⁵ Dansgaard (2000), p. 63ff.

¹¹⁶ Knudsen (2004), p. 138.

der vejer op til 70 gange så meget som brintatomet.¹¹⁷ I Niers oprindelige beskrivelse af instrumentet fremhævede han, at det særligt havde anvendelsesmuligheder inden for biokemisk forskning, da det netop kunne skelne isotoper af de grundstoffer, der typisk indgår i biologiske processer såsom ilt, kulstof og kvælstof. Denne anvendelse var også baggrunden for indkøbet af instrumentet til Biofysisk Laboratorium, hvor det var hensigten, at massespektroskopiske analyser skulle tilbydes som en service for forskere inden for det fysiologisk-medicinske område. Det samme var tilfældet med elektronmikroskopet, der også skulle tilbydes som en servicefunktion for andre forskere – et forhold, der ikke helt huede Dansgaard: ”Han [en af Dansgaards overordnede ved laboratoriet] anså tilsyneladende vores rolle for at være begrænset til at betjene andre forskere, en i og for sig god opgave, men med det sigte var det nok snarere en dygtig tekniker eller laborant han skulle have fat i”.¹¹⁸ Ikke desto mindre påtog Dansgaard sig opgaven med stor seriøsitet og forsøgte gennem de følgende måneder at promovere massespektrometrets muligheder både i populære tidsskrifter som *Ingeniøren* og i mere faglige tidsskrifter som *Kemisk Maanedsskrift* og *Ugeskrift for Læger*.¹¹⁹ Her argumenterede Dansgaard bl.a. for, at stabile isotoper kunne finde anvendelse inden for tracerstudier, da f.eks. ilt og kvælstof, der indgår i mange biologiske processer, ikke har radioaktive isotoper med passende halveringstider til radioaktive tracerforsøg.

Hvor Dansgaards kollega, der stod for de elektronmikroskopiske studier, hurtigt fik travlt, så lod Dansgaards advokering for anvendelsen af massespektroskopien i medicinske og fysiologiske studier ikke til at bære frugt. Han fik dog forskellige småopgaver: bl.a. analyserede han for en geolog indholdet af kulstof-isotoper i nogle bjergarter fra Disko-øen i Grønland.¹²⁰ En sådan analyse kunne klarlægge, om materialet var af organisk eller uorganisk oprindelse. Denne opgave lå uden for den

¹¹⁷ Nier (1947).

¹¹⁸ Dansgaard (2000), p. 63.

¹¹⁹ Dansgaard (1952a), Dansgaard (1951) og Dansgaard (1952b).

¹²⁰ Münther *et al.* (1951)

oprindelige hensigt med spektrometret, og samarbejdet er sikkert kommet i stand som følge af Dansgaards kontakter til andre grønlandsforskere efter hans ophold i Godhavn. Det var også Dansgaards interesse for geofysisk forskning, der i sidste ende fik både ham og massespektrometret på overarbejde.

3.4 Dansgaards isotopforskning

I sine frustrationer over ikke at have nogen anvendelse for massespektrometret begyndte Willi Dansgaard at undersøge den isotopiske sammensætning af regnvand, som han havde opsamlet i sin egen have. Grunden til, at han i første omgang kastede sig ud i sådan et studie, var den generelle interesse for meteorologiske fænomener, han havde fået ved sit arbejde i vejrtjenesten på Meteorologisk Institut.¹²¹ Det var også hans indsigt i vejrfronternes natur, der gjorde ham i stand til at tolke sine målinger og konkludere, at der tilsyneladende var en sammenhæng mellem kondensationstemperaturen for nedbøren og det relative indhold af den tunge iltisotop, ^{18}O .¹²²

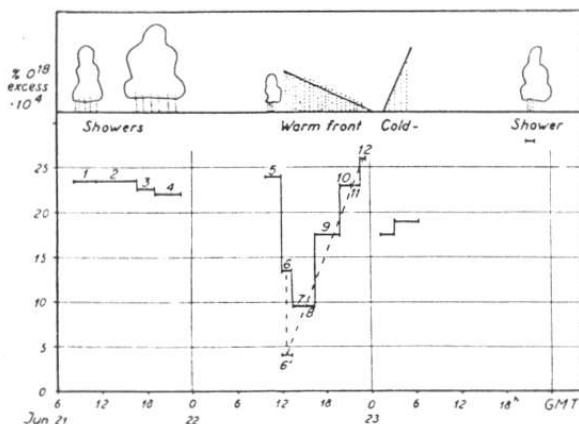
Undersøgelser af den isotopiske sammensætning af nedbør havde været foretaget siden 1930'erne, hvor man dog ikke havde særlig præcise massespektrometre, og derfor byggede de tidligere studier på målinger af nedbørens densitet.¹²³ Man vidste allerede på dette tidspunkt, at den isotopiske sammensætning varierede som følge af de forskellige damptryk for $\text{H}_2(^{16}\text{O})$ og $\text{H}_2(^{18}\text{O})$. Det var blevet vist, at $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ -indholdet faldt med ca. 1 % ved en fordampningsproces, og at denne fraktionering ikke havde nogen målelig

¹²¹ Interview med Willi Dansgaard.

¹²² Mere præcist var der en sammenhæng mellem vandampens afkøling siden mætning og nedbørens isotopiske sammensætning. En direkte sammenhæng mellem kondensationstemperaturen og isotopsammensætningen forudsætter derfor, at mætning har fundet sted ved nogenlunde konstant temperatur.

¹²³ Det følgende bygger på referencer til tidligere studier i Dansgaard (1953).

temperaturafhængighed, men større studier af variationen i isotopsammensætningen gennem den hydrologiske cyklus var ikke blevet foretaget.¹²⁴



Figur 14. Dansgaards figur i Tellus-artiklen fra 1953, der skitserer variationerne i nedbørens isotopsammensætning under frontpassagen den 22.-23. juni 1952. Her ses det, hvordan indholdet af $H_2(^{18}O)$ steg under varmfrontens passage. De høje ^{18}O -værdier i starten af fronten skyldes, at nedbøren har været udsat for fordampning på sin vej mod jorden.

En fornyet interesse omkring variationerne i δ i hydrosfæren kom, da Harold Ureys gruppe ved University of Chicago påbegyndte deres klimatologiske studier af foraminiferer i havet. Som det blev diskuteret i kapitel 2, afhang pålideligheden af deres metode af, hvorvidt man kunne forstå og korrigere for de naturlige variationer i δ i havvand. De variationer i isotopsammensætningen, der blev forårsaget af meteorologiske processer, var således for Ureys gruppe en fejlkilde og tilsyneladende ikke et interessant studieobjekt i sig selv. I hvert fald nøjedes de med at foretage kvalitative undersøgelser, hvis primære resultat var, at δ -værdien faldt,

¹²⁴ Som nævnt i kapitel 1 regnede Dansgaard frem til slutningen af 1960'erne i absolutte koncentrationer. Derefter indførte han den mere udbredte δ -funktion, der angiver den promillevisse afvigelse af $H_2(^{18}O)$ -koncentrationen fra en veldefineret standard. Da denne funktion er mere bekvem, vil jeg anvende den konsekvent.

når man bevægede sig mod koldere egne, og at det laveste niveau fandtes i smeltevand fra gletscherområder.¹²⁵

Dansgaards tilgang til problemet var en helt anden, da han med sit udgangspunkt i meteorologien netop var interesseret i, hvordan de meteorologiske processer kunne forårsage variationer i nedbørens isotopiske sammensætning. Da Dansgaards regnvandsstudier var impulsive og ikke en del af laboratoriets forskningsprogram, kendte han sandsynligvis ikke til den forskning, der tidligere var udført på dette område. Allerede i efteråret 1952 mødte Dansgaard dog Harold Urey, da Urey var i København for at besøge Hilde Levi, og han fik ved denne lejlighed sandsynligvis også et større kendskab til klimastudierne i Chicago.¹²⁶

På baggrund af sit detaljerede kendskab til vejrfroster forklarede Dansgaard i en artikel i tidsskriftet *Tellus* i 1953 sine målinger af variationen i δ -værdier ud fra den varierende temperatur i de luftlag, hvorfra regnen stammer i løbet af en frontpassage.¹²⁷ Selv denne kvalitative forklaring havde ikke været givet før, men Dansgaard gik længere, og forsøgte også at opstille en kvantitativ sammenhæng for ændringerne i δ -værdierne. Dansgaard opstillede herved en kvantitativ formel for variationen i δ som funktion af kondensationstemperaturen, og han viste, at temperaturafhængigheden var ganske betydelig og i overensstemmelse med hans målinger. Dansgaards teori var, at den proces, der finder sted, når vanddamp presses op langs en varmfront, kan sammenlignes med en destillationsproces, hvor nedbøren bliver mere og mere beriget med ^{16}O , jo højere vanddampen når op, fordi $\text{H}_2(^{18}\text{O})$ har en større tendens til at kondensere og dermed fjernes fra luften, efterhånden som den afkøles. Dansgaard generaliserede dette princip til hele den atmosfæriske cirkulation af vanddamp, og forklarede derved de lave δ -værdier i smeltevand fra gletschere. Tidligere forklaringer havde gået på, at ^{16}O skulle have en højere tendens til at smelte, og at dette skulle være årsag til de lave δ -værdier i

¹²⁵ Epstein *et al.* (1953).

¹²⁶ Brev fra Willi Dansgaard til Harold Urey, 30. marts 1954 (Mandeville Special Collections Library).

¹²⁷ Dansgaard (1953).

smeltevand, men Dansgaard tilbageviste denne forklaring ved at analysere prøver af is, som han havde fået tilsendt fra Grønland.¹²⁸ Ifølge den tidligere forklaring skulle denne is således være beriget med $H_2(^{18}O)$, der skulle have en mindre tendens til at smelte, men Dansgaard påviste, at $H_2(^{18}O)$ -indholdet i isen var lavere end det fandtes nogen andre steder, og underbyggede derved sin forklaring.

Dansgaards viden om og interesse for meteorologi var afgørende for hans fortolkning af målingerne af nedbørens δ . I modsætning til Ureys gruppe i Chicago, der primært var interesseret i at forstå δ -variationerne i havet, fandt Dansgaard de meteorologiske processer interessante i sig selv og nåede derved frem til nye resultater. Den første artikel, hvor Dansgaards undersøgelse af den københavnske frontpassage blev fremlagt, og hvor han opstillede en kvantitativ sammenhæng mellem δ -værdien for nedbør og nedbørens kondensationstemperatur, blev publiceret i det internationalt anerkendte tidsskrift *Tellus*. Mange af de mest banebrydende geofysiske arbejder fra denne periode blev publiceret i *Tellus*, og Dansgaards resultater blev derfor hurtigt udbredt til hele den geofysiske forskerverden.¹²⁹

Efter succesen med at forklare de første målinger fortsatte Dansgaard sine nedbørsstudier med en stor ihærdighed, som flere af hans senere kolleger har betegnet som meget karakteristisk for hans arbejdsform.¹³⁰ Selvom Dansgaard ikke var i et geofysisk forskningsmiljø, formåede han at udnytte sine forbindelser til at arbejde videre med teorien om δ -værdien som en indikator for lufttemperaturen. Centralt i Dansgaards forståelse af isotopfraktioneringen var den destillationsproces, der skulle finde sted, når vanddampe stiger til vejrs og afkøles. Denne idé kunne efterprøves ved at indhente og analysere prøver af en sky – et projekt, der ved første øjekast kunne synes meget kompliceret. Men Dansgaard arrangerede gennem en af sine kolleger, der havde forbindelser til Flyvevåbnet, at

¹²⁸ Dansgaard (2000), p. 72.

¹²⁹ Weart (2001), p. 387.

¹³⁰ Interview med Henrik Clausen.

en af deres maskiner skulle flyve ham gennem en cumulusky, hvor han kunne indsamle vanddampen og skydråberne i en frysefælde.¹³¹ Analyserne af den indsamlede vanddamp bekræftede Dansgaards formodning om, at der foregår en destillationsproces, når vanddamp stiger til vejrs og afkøles i atmosfæren: Da vanddamp med $H_2(^{18}O)$ har en forøget tendens til at kondensere, vil det relative indhold af $H_2(^{18}O)$ – og dermed δ -værdien – falde med stigende højde efterhånden som vanddampen afkøles og $H_2(^{18}O)$ udskilles.¹³² At vise, at dette var tilfældet, var første skridt i bekræftelsen af Dansgaards teori – næste skridt var at påvise, at princippet kunne generaliseres til hele atmosfærecirkulationen. For at vise det, var det nødvendigt med prøver af regnvand fra forskellige egne af Jorden. Endnu en gang var det Dansgaards ihærdighed og evne til at udnytte sine forbindelser, der gjorde ham i stand til at føre projektet ud i livet. Zoologen Anthon Bruun, som Dansgaard tidligere havde udført nogle analyser for, havde efter sin ledelse af Galathea-ekspeditionen fået gode kontakter til direktøren for Østasiatisk Kompagni, Prins Axel. Prins Axel, der ”gerne ville bidrage til videnskaben”, lod sig overtale af Bruun til at få medarbejdere i ØK’s afdelinger verden over til at indsamle prøver af ferskvand og efterfølgende sende dem til Dansgaards laboratorium i København.¹³³

Således gik det til, at Dansgaard fik adgang til vandprøver fra store dele af verden – også hans kontakter i Grønland sendte prøver af den grønlandske nedbør – og resultaterne af isotopanalyserne blev publiceret i det engelske tidsskrift *Geochimica et Cosmochimica Acta*.¹³⁴ På samme måde, som han havde gjort det i *Tellus*-artiklen, opstillede Dansgaard kvantitative formler for fraktioneringen af isotoperne i vand, der gennemgår forskellige processer i hydrosfæren. Centralt i artiklen var måleresultaternes bekræftelse af Dansgaards fortolkning af de meteorologiske

¹³¹ Dansgaard (2000), p. 71.

¹³² Dansgaard (1954b), p. 253.

¹³³ Dansgaard (2000), p. 72 og Interview med Willi Dansgaard.

¹³⁴ Dansgaard (1954b).

processer og ikke mindst, at ferskvandsprøverne bekræftede den overordnede sammenhæng mellem nedbørens δ -værdi og lufttemperaturen.

Mens Dansgaards teori for variationerne i isotopsammensætningen af vand fik stor betydning for videre studier af den hydrologiske cyklus, så præsenterede han også i *Geochimica et Cosmochimica Acta* artiklen en idé, der skulle vise sig at have endnu større potentiale: ”Jeg var helt sikker på at det var en god idé, måske den eneste virkeligt gode jeg har fået”.¹³⁵ Idéen gik ud på, at hvis isotopsammensætningen af nedbør er en indikator for lufttemperaturen, så kan man – hvis man kan finde gammel nedbør – rekonstruere temperatursvingningerne tilbage i tiden. Og gammel nedbør er netop, hvad der findes i den grønlandske indlandsis. Dansgaard var klar over idéens potentiale, men måtte også erkende, at han ikke havde mulighed for selv at føre den ud i livet. Derfor nøjedes Dansgaard med at antyde, at isotop-metoden kunne bruges til at rekonstruere ”climate changes over a period of time of several hundred years of the past”.¹³⁶ Med udviklingen af sin metode til bestemmelse af palæotemperaturer øjnede Dansgaard muligheden for atter at komme til Grønland, og han sluttede artiklen med sit ønske for fremtiden: ”An investigation will be undertaken as soon as an opportunity offers”.

3.5 Ophold i USA 1953-54

Selvom Dansgaard havde gode kolleger på Biofysisk Laboratorium, og selvom lederen H. M. Hansen støttede op om Dansgaards forskning, var der ikke andre, der beskæftigede sig med hverken massespektroskopi eller geofysik, og han måtte derfor søge ud for at blive fagligt stimuleret. Verdenscentret for forskning i lette isotoper var uden tvivl ”Institute for Nuclear Studies” i Chicago, hvor Harold Urey var professor. Da Dansgaard allerede havde mødt Urey i efteråret 1952, skrev han til ham i maj 1953 med henblik på et års ophold ved Ureys institut.¹³⁷ Urey, der var

¹³⁵ Dansgaard (2000), p. 72.

¹³⁶ Ibid. og Dansgaard (1954b).

¹³⁷ Det følgende bygger i stor udstrækning på: Korrespondance mellem Willi Dansgaard og Harold Urey, 1953-1954 (Mandeville Special Collections).

klar over, at Dansgaard var alene med sin forskning i København, tog gerne imod ham på instituttet: "He [Dansgaard] is one of the few men who are working on a mass spectrometer program in Copenhagen, and so far as I know is doing good work and as a result of this we would be very glad to have him visit us in the United States and to teach him whatever we possibly can about the sort of thing we are doing".¹³⁸ Dansgaard modtog gennem OEEC et stipendium til et års ophold i USA og rejste i august 1954 med sin hustru og deres 1-årige søn til Chicago.

På Ureys institut havde en anden ung forsker, Harmon Craig, også beskæftiget sig en del med den isotopiske sammensætning af ferskvand, men han havde endnu ikke publiceret nogen resultater. Urey opfordrede de to til at arbejde sammen, men hvad der kunne have været et frugtbart samarbejde endte i stedet med umuliggøre Dansgaards ophold i Chicago. Ud fra de tilgængelige kilder kan det være svært at afgøre, hvad der var årsagen til, at samarbejdet fungerede så dårligt, men det var sandsynligvis en kombination af dårlig personlig kemi og forskellige tilgange til forskningen i isotoper. I sin selvbiografi skriver Dansgaard, at Harmon Craig ikke tidligere havde beskæftiget sig i stor udstrækning med isotop-meteorologi, men at han efter at have fulgt Dansgaards eksperimenter mente, at "gæsten fra Danmark kun ønskede at arbejde med emner, som han [Harmon Craig]...allerede var beskæftiget med".¹³⁹ I Ureys breve til Dansgaard fremgår det, at Craig havde beskæftiget sig med "this problem of the precipitation of fresh water samples", men som sagt var det endnu ikke noget, der havde ført til publikationer.¹⁴⁰

En sandsynlig forklaring er, at Harmon Craig som novicen på det isotop-meteorologiske område følte sig truet af den både ældre og på dette område mere erfarne Willi Dansgaard. Craig ønskede derfor ikke, at den udefrakommende Dansgaard skulle overtage hans område. Da isotop-meteorologien langt fra var et af laboratoriets kerneområder, prioriterede Urey freden på instituttet over Dansgaards

¹³⁸ Brev fra Harold Urey til Walter Colby ved National Academy of Sciences, 18. december 1953 (Mandeville Special Collections).

¹³⁹ Dansgaard (2000), p. 73.

¹⁴⁰ Brev fra Harold Urey til Willi Dansgaard, 7. april 1954 (Mandeville Special Collections).

faglige udbytte af opholdet, og tilbød derfor Dansgaard, at han i stedet kunne studere kvælstofisotoper i bjergarter.¹⁴¹ At Urey ikke havde den store interesse for Dansgaards studier fremgår af et brev til National Research Council, der skulle godkende, at Dansgaard forflyttedes til et andet universitet: "He wished to work very much on meteorological problems, and we were just not equipped to do very much with him".¹⁴² Inden han rejste til USA, havde Dansgaard korresponderet med Urey omkring sin isotopmeteorologiske forskning og gjort det klart, at det var denne forskning, han ønskede at fortsætte i Chicago. Ureys brev til National Research Council kan derfor kun ses som et udtryk for, at han ønskede at undgå en yderligere konflikt mellem Craig og Dansgaard frem for, at Dansgaard kunne gennemføre den planlagte forskning. Enden på hele miseren blev, at Dansgaard fortsatte sit arbejde på Northwestern University hos kemikeren Malcolm Dole. Her var ikke mulighed for et så stimulerende miljø som på Ureys institut, men til gengæld fik Dansgaard frie hænder til at fortsætte sin egen forskning. Resultatet af Dansgaards ophold i USA blev derfor ikke, at han fik et større samarbejde med udenlandske kolleger inden for samme felt, men derimod, at han aldrig siden havde kontakt til Urey og heller aldrig etablerede et samarbejde med Craig.

3.6 Analyser af is!

Som det blev diskuteret i kapitel 2 var der i 1950'erne stor fokus på geovidenskaberne, hvilket i høj grad skyldtes disses militære interesse. Særlig stor fokus på dette fagområde var der i 1957-58, hvor Det Internationale Geofysiske År, IGY, blev afholdt. IGY blev lanceret som et foregangseksempel på internationalt samarbejde, men den store støtte til projektet skyldtes i høj grad den militære interesse i geofysisk forskning. Dette understreges af Spencer Weart, der har påpeget, at "[u]nder the banner of the IGY they [den amerikanske og den sovjetiske regering] could collect global geophysical data of potential military value, along the

¹⁴¹ Dansgaard (2000), p. 73.

¹⁴² Brev fra Harold Urey til Walter Colby ved National Academy of Sciences, 22. oktober 1954 (Mandeville Special Collections).

way gathering intelligence about their opponents, and meanwhile enhance their nation's prestige".¹⁴³ Således var f.eks. opsendelsen af den sovjetiske Sputnik-satellit et projekt under IGY.

Et af de store satsningsområder i det Geofysiske År var polarforskningen, hvilket i stor udstrækning også skyldtes en militær interesse i polarområderne. Bl.a. udvidede det amerikanske militær deres aktiviteter i Grønland betydeligt og etablerede en større lejr under Indlandsisen i Nordgrønland – en lejr som fik stor betydning for iskerneforskningens udvikling, og som der vil blive set meget nærmere på senere. Under det Geofysiske År oprettedes endvidere et europæisk samarbejde, Expédition Glaciologique Internationale au Groenland, EGIG, hvor flere lande samarbejdede omkring glaciologiske studier i Grønland. Da Grønland var – og er – dansk suverænitetsområde skulle alle videnskabelige aktiviteter godkendes af den danske regering. Selvom de videnskabelige bidrag fra dansk side til projektet var begrænsede, var der således flere danskere involveret, heriblandt departementschef i Grønlandsministeriet Eske Brun og geografen Børge Fristrup, der fungerede som videnskabelig observatør for ministeriet. Dansgaard, der fortsat gik med sin uforløste idé om at foretage isotopanalyser af den Grønlandske indlandsis, tog kontakt til Fristrup med henblik på at få indflydelse på EGIG's planer. Dansgaards idé fik stor støtte fra Fristrup, der længe havde ”været stærkt interesseret i, at nogle ville gå i gang med disse problemer [glaciologisk forskning] også fra dansk side”.¹⁴⁴ EGIG's forskning lå i forlængelse af bl.a. den ekspedition, som Wegener havde ledet i 1930. Ligesom det havde været tilfældet med Wegeners ekspedition, var et af hovedformålene med EGIG at foretage meteorologiske observationer fra Indlandsisens midte, og derudover nedsatte man stager i isen, der skulle anvendes til at måle isens bevægelse. Desuden udboredes en række kerner på

¹⁴³ Weart (2001), p. 364.

¹⁴⁴ Brev fra Børge Fristrup til Willi Dansgaard, 28. januar 1958 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling, KU). Referat af EGIG-møde i København, 8. - 9. maj 1961 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling) viser, at der foregik en magtkamp mellem de franske glaciologer og de danske medlemmer af samarbejdet om, hvem der skulle stå for den videnskabelige ledelse. Den franske dominans har sandsynligvis været grunden til Fristrups ønske om øget dansk deltagelse.

op til 10-20 meter langs en linie på tværs af Indlandsisen. Det var disse kerner, Willi Dansgaard fik mulighed for at analysere.¹⁴⁵ Hovedformålet med Dansgaards isotopanalyser var ikke så meget at bestemme lufttemperaturen tilbage i tiden, men derimod at bekræfte hypotesen om, at sneens δ faldt, når man bevægede sig længere ind på isen, hvor det blev koldere. Hvis dette var tilfældet, kunne Dansgaards metode også anvendes til at fastlægge isens flydemønstre, da δ -værdien er en indikator for isens oprindelsessted. Nogle af kernerne indeholdt dog sne, der var op til 50 år gammelt, og Dansgaard anvendte disse til at rekonstruere temperaturvariationerne i det 20. århundrede.

Anvendelse af δ -metoden til at bestemme isens flydemønstre var også baggrunden for nogle ekspeditioner til Store Bræen i Norge og til Grønland, som Dansgaard deltog i sammen med den norske zoolog Per Scholander i slutningen af 1950'erne.¹⁴⁶ Disse ekspeditioner er udførligt beskrevet i Dansgaards selvbiografi og havde som sagt et andet formål end de klimatologiske isstudier, som Dansgaard senere deltog i, hvorfor de kun vil blive resumeret her.

Resultatet af Dansgaards deltagelse i EGIG og i Scholanders ekspeditioner var, at han bevægede sig fra at arbejde med meteorologi og massespektroskopi mod mere glaciologisk orienterede studier. I samarbejdet med Scholander anvendte Dansgaard sin metode til at bestemme isbjerges oprindelsessted på Indlandsisen, mens Scholander forsøgte at anvende den nyudviklede kulstof-14 dateringsmetode til at fastsætte isbjergenes alder. Resultaterne af disse undersøgelser – særligt aldersbestemmelserne – var dog tvivlsomme, og op gennem 1960'erne koncentreredes en stor del af Dansgaards arbejde sig omkring en forbedring af Scholanders dateringer ved at anvende den radioaktive ^{32}Si -isotop frem for ^{14}C . På baggrund af sin nyfundne interesse for at studere Indlandsisens flydemønstre og for glaciologi generelt deltog Willi Dansgaard i september 1958 i en konference i Chamonix, Frankrig med temaet "The Motion of Ice", hvor en stor del af datidens

¹⁴⁵ Dansgaard (2000), p. 85ff.

¹⁴⁶ Ibid., p. 103ff.

markante glaciologer også deltog. Her opbyggede Dansgaard kontakter, der gennem det følgende årti involverede ham i glaciologiske forskningsprojekter af så store økonomiske proportioner, at de aldrig kunne have været gennemført af danske forskere alene.

3.7 Kontakten til USA

Det skift, Dansgaard foretog i slutningen af 1950'erne fra fysisk-meteorologiske studier til glaciologi, skyldtes i høj grad hans generelle interesse for Grønland og hans ønske om at komme derop igen. På trods af, at der på dette tidspunkt ikke var mange andre danskere, der arbejdede med glaciologi, fik Dansgaard i kraft af Danmarks særlige stilling i forhold til Grønland mulighed for at foretage dette disciplinskift. Glaciologien var på dette tidspunkt en veletableret disciplin – den var vokset ud af de store ekspeditioner til Nord- og Sydpolen i århundredets begyndelse, og i 1936 oprettedes *International Glaciological Society*. Derudover oplevede polarforskningen som helhed stor fremgang i efterkrigsårene. Der var således etableret et internationalt netværk af glaciologer i 1950'erne, og det var dette netværk Willi Dansgaard fik kontakt til, både gennem sin deltagelse i EGIG og særligt da han i efteråret 1958 deltog i konferencen om ”The Motion of Ice”. Det bør også nævnes, at Danmark på dette tidspunkt havde en stor tradition for polarforskning; her havde særligt Knud Rasmussens og Lauge Kochs ekspeditioner til Nordgrønland været banebrydende, men formålet med disse ekspeditioner havde nærmere været kartografiske og geologiske end glaciologiske, og der var derfor ikke et glaciologisk forskningsmiljø i Danmark.¹⁴⁷

Ved konferencen i Chamonix i 1958 deltog flere af de franske glaciologer fra EGIG-samarbejdet, men også amerikanske glaciologer fra det militære forskningslaboratorium SIPRE (Snow Ice and Permafrost Research Establishment)

¹⁴⁷ En udførlig fremstilling af dansk polarforskning i første halvdel af det 20. århundrede er givet i Ries (2003). Så vidt jeg har kunnet vurdere ud fra årbøgerne fra Københavns Universitet, var Børge Fristrup ved Geografisk Institut en af de få, der arbejdede med glaciologi, men var på trods af dette ikke en aktiv deltager i EGIG-ekspeditionerne.

var med. Kontakten til denne institution skulle blive afgørende for Dansgaards muligheder for at komme videre med isotop-undersøgelserne af is, og det er derfor værd at se lidt nærmere på den amerikanske forskning. Det amerikanske militær havde siden slutningen af anden verdenskrig stået for flere forskningsprojekter med relation til polarområderne.¹⁴⁸ Udbygningen af infrastrukturen i den Amerikanske delstat Alaska havde været en prioritet under krigen og havde stillet det amerikanske militærs ingeniører over for en række nye udfordringer. Derfor påbegyndtes forskning i anlægning af veje og lufthavne i områder med hel eller delvis permafrost. I forbindelse med etableringen og udbygningen af de amerikanske baser på Grønland blev disse aktiviteter udvidet og i 1949 oprettedes SIPRE, der spillede en stor rolle i etableringen af Thulebasen i 1952. Allerede i 1948 havde en forskningsgruppe under militæret desuden udviklet et håndbor, der kunne anvendes til at bore korte kerner op af isen. Formålet med disse borer var at studere isens fysiske egenskaber, også med henblik på løsning af ingeniørmæssige opgaver i polarområderne. Derudover påbegyndte det amerikanske militær i midten af 1950'erne etableringen af en række radarstationer fra Alaska over Grønland til Island. Projektet, der kaldtes DEW – Distant Early Warning Line – havde til formål at overvåge luftrummet nord for USA og holde øje med mulige sovjetiske flyangreb. Etableringen af radarstationer inde på Indlandsisen stillede de amerikanske ingeniører over for en række nye udfordringer, da isen hele tiden bevæger sig.¹⁴⁹ Glaciologisk forskning var således højt prioriteret af det amerikanske militær, og SIPRE var et af centrene for denne forskning.

¹⁴⁸ Det følgende bygger på Wright (1986).

¹⁴⁹ Det bør nævnes, at en stor del af arbejdet i forbindelse med etableringen af Dye-stationerne blev varetaget af Danish Arctic Contractors, DAC (Dansgaard (2000), p. 167).



Figur 15. Den amerikanske radarstation Dye 3 på Indlandsisen.

Videnskabsfolk fra SIPRE deltog som nævnt i konferencen i Chamonix, og det fremgår af Dansgaard's korrespondance, at han allerede et par måneder senere tog kontakt til SIPRE for at etablere et samarbejde. Dansgaard ønskede at foretage isotopanalyser af de isprøver, som de amerikanske forskere havde udboret af Indlandsisen, og lederen af SIPRE's isforskning var positiv over for Dansgaard's forslag: "If some of the ice we presently have in the laboratory may be of use to you, please let us know exactly which sections so we may send them to you".¹⁵⁰ Korrespondancen mellem Dansgaard og James Bender, der var leder af "Snow and Ice Basic Research Branch" ved SIPRE, giver et indtryk af, at Dansgaard hurtigt fik etableret et fast samarbejde med SIPRE, hvor han modtog prøver af deres iskerner med henblik på δ -analyse. At det ikke kun var Dansgaard, der havde gavn af samarbejdet, fremgår af et brev til James Bender fra en anden amerikansk glaciolog, i hvilket resultaterne af isstudierne diskuteres: "...perhaps one of the most

¹⁵⁰ Brev fra James Bender, Chief, Snow and Ice Basic Research Branch ved SIPRE til Dansgaard, 28. november 1958 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

interesting and productive efforts is Dansgaard's O¹⁸ study. Already he has some extremely interesting results showing both altitudinal and seasonal distribution patterns".¹⁵¹ De amerikanske forskeres imødekommenhed overfor Dansgaard skyldtes sandsynligvis, at han allerede på dette tidspunkt var respekteret for sin forskning, men nok i lige så høj grad hans danske nationalitet. Da den amerikanske forskning på Grønland i sagens natur foregik i dansk suverænitetssområde, blev de amerikanske aktiviteter fulgt fra dansk side gennem Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland (KVUG)¹⁵², og i fuldmagten for Danmarks videnskabelige forbindelsesofficer i Thule stod der eksplicit, at officeren skulle "drage omsorg for...at danske specialister i videst mulig omfang får lejlighed til at deltage i de videnskabelige undersøgelser, der gennemføres i Grønland".¹⁵³ At Dansgaard fik stillet isprøver til sin rådighed, kunne derfor give amerikanerne goodwill fra de danske myndigheders side.

De sne- og isprøver, som Dansgaard modtog fra SIPRE, rakte ikke lang ned i Indlandsisen og var ikke skåret i kontinuert sekvens, og de kunne derfor ikke bruges til at bestemme temperaturvariationerne tilbage i tiden. Dette blev først muligt for Dansgaard, da amerikanerne som et led i deres militære interesse i Nordgrønland foretog den første dybdeboring gennem Indlandsisen i 1966.

3.8 Iceworm

Selvom en stor del af de amerikanske forskere, der arbejdede på Grønland, var civile, var den grundlæggende motivation for forskningen den militære interesse i området. På samme måde var også den første dybdeboring, som blev gennemført i 1965-66 et led i en større militær plan. I en rapport fra Dansk Udenrigspolitisk

¹⁵¹ Brev fra David Nutt, Dartmouth College til James Bender, 9. juni 1959 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁵² KVUG modtog hvert år fra USA skriftlig anmodning om godkendelse af forestående amerikanske forskningsaktiviteter i Grønland. Hvert forår blev planerne diskuteret på et møde i København med en delegation af civile og militære forskere og administratorer. Det var ved disse møder, at KVUG kunne opfordre til inddragelse af danske forskere eller til koordination med andre forskningsprojekter.

¹⁵³ Taagholt (2002a), p. 55.

Institut fra 1997 fremlagdes tidligere hemmeligstemplede dokumenter fra det amerikanske militær, der beskrev et projekt kaldet ”Iceworm”.¹⁵⁴ Dette projekt gik ud på, at der under den grønlandske indlandsis skulle etableres et net af tunneler, fra Narsarsuaq i det sydlige Grønland til Thule i nord. I sin ultimative form skulle ”Iceworm” inkludere konstruktionen af et netværk af tunneler – 4000 km i alt – 10 m under Indlandsisens overflade. 600 atombevæbnede mellemdistanceraketter skulle skjules i tunnelerne, og hvert år skulle nye tunneler bygges, så raketterne kunne skifte position.¹⁵⁵ Denne plan blev aldrig realiseret, men etableringen af mindre gangsystemer og lejre under isen i slutningen af 1950’erne og starten af 1960’erne var muligvis de første stadier af dette store projekt.

Allerede året efter opbygningen af den store militærbase ved Thule, påbegyndtes etableringen af baser inde på Indlandsisen. Formålet med baserne var dels at undersøge mulighederne for at bygge større lejre på eller under isen og dels, at de skulle fungere som fremskudte radarstationer til forsvaret af Thulebasen.¹⁵⁶ Den ene lejr – Site 2 – lå 350 km inde på Indlandsisen og husede ca. 25 mand. Ved denne lejr, der havde kostet 3 mio. \$ at anlægge, foregik tillige flere videnskabelige forskningsprojekter. I 1956 gennemførtes således en iskerneboring, der nåede 305 m ned, før boret knækkede. Året efter gentog man projektet med et nyt bor og nåede denne gang ned i 411 m dybde. Disse to iskerneboringer var de første, der rakte flere hundrede meter ned i Indlandsisen.

I 1958 gik eksperimenterne med at anlægge lejre på Indlandsisen ind i en ny fase, da man 100 miles inde på isen begyndte opbygningen af Camp Century, der fik sit navn fra afstanden til isranden. Camp Century skulle huse op til 250 mand og indeholdt bl.a. et bibliotek, gymnastiksal, værksteder, hospitalsklinik og en butik. Fordi Camp Century var en testlejr, der skulle tjene til at undersøge, om projekt ”Iceworm” kunne føres ud i livet, var det nødvendigt at finde ud af, om energien til den underjordiske lejr kunne tilføres på andre måder end med de konventionelle

¹⁵⁴ Dansk Underrigspolitisk Institut (1997), p. 319ff.

¹⁵⁵ Philbert (2002).

¹⁵⁶ Taagholt (2002b).

dieselgeneratorer. Derfor valgte man ved Camp Century at installere en af militærets mobile atomreaktorer.

Selvom projekt "Iceworm" var et hemmeligt militært projekt, blev mange af militærets aktiviteter i Grønland langt fra holdt hemmelige – tværtimod blev f.eks. Camp Century promoveret gennem flere bøger og film i starten af 1960'erne.¹⁵⁷ Helt i den amerikanske ånd blev Grønland fremstillet som stedet, hvor de sidste grænser skulle brydes: "Camp Century is a front-line position in a large-scale military and scientific campaign aimed at studying the polar regions and opening to human usefulness and habitation one of the last frontiers left on the earth".¹⁵⁸ Men samtidig blev der ikke lagt skjul på, at årsagen til den store interesse for polarområderne var deres strategiske placering mellem Nordamerika og Sovjetunionen: "...the cold war places it [Grønland] squarely in a possible line of missile fire between two potential antagonists".¹⁵⁹ Som et led i forberedelsen af projekt "Iceworm" påbegyndte man i 1963 ved Camp Century en iskerneboring, der skulle række hele vejen ned til det underliggende fjeld. Det videnskabelige formål med denne boring var bl.a. at studere sne-akkumuleringen i området og den proces, hvor sne omdannes til is (firnifikation) og det underliggende fjeld. Boringen afsluttedes i 1966, og resultatet var en 1390 meter lang iskerne, der rakte hele vejen gennem Indlandsisen. Det var denne kerne Dansgaard, og folkene i den gruppe han i slutningen af 1960'erne havde opbygget i København, fik mulighed for at foretage δ -analyse af. For at forstå, hvordan det nåede dertil, at en dansk forskergruppe fik mulighed for at analysere en iskerne, der var udboret af en forskningsinstitution under det amerikanske militær, er det nødvendigt at se nærmere på Dansgaards kontakt til de amerikanske forskere op gennem 1960'erne.

¹⁵⁷ Daugherty (1963) og Wager (1962).

¹⁵⁸ Daugherty (1963)p . 18.

¹⁵⁹ Ibid., p. 22.

3.9 Amerikanske iskerneanalyser

Som et led i sit samarbejde med SIPRE modtog Willi Dansgaard i 1959 prøver fra den længste kerne fra Site 2 på 411 m. Prøverne var fra hhv. 100, 200 og 400 meters dybde, og repræsenterede hver nedbøren fra 3-4 år. Dansgaard estimerede, at den nederste prøve repræsenterede nedbør, der stammede fra omkring år 900, men da han havde så få prøver, kunne de ikke anvendes til at udlede noget om klimaets udvikling gennem denne ca. 1100 år lange periode. Site 2 kernen repræsenterede dog netop den mulighed for at rekonstruere klimaets udvikling, som Dansgaard havde antydnet i sin artikel fra 1954, og derfor foreslog han James Bender, at kernen skulle bruges til ”a systematic investigation of climatic variation during the 1100 years it represents”.¹⁶⁰ I arkivet over Dansgaards korrespondance med SIPRE er der efter denne forespørgsel et hul frem til 1966. Dette kan skyldes, at arkivet er ufuldstændigt, men det er sikkert, at Bender ikke umiddelbart svarede på Dansgaards henvendelse. Der foreligger et brev fra Dansgaard, der er skrevet et halvt år senere, hvor han skriver: ”It is now long time since I heard from you. I am anxious to hear your opinion about my letter of April 5th”.¹⁶¹ Benders tilbageholdenhed kan skyldes, at der allerede var amerikanske forskere, der arbejdede med δ -analyser af Site 2 kernen, men den overvejende grund har måske været et forhøjet sikkerhedsniveau for de amerikanske aktiviteter i Grønland. Jeg har ingen kilder til min rådighed, der understøtter denne teori, men det var netop på dette tidspunkt, at planerne om projekt ”Iceworm” var på sit højeste, og det kan have været ildeset, at danske forskere var dybt involveret i amerikansk, militær forskning.

Samtidig med ophøret af korrespondancen mellem Dansgaard og Bender fik Dansgaard kontakt til Chester Langway, der også var tilknyttet SIPRE, der netop på dette tidspunkt blev omdannet til US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL. Langway arbejdede på en ph.d.-afhandling om

¹⁶⁰ Brev fra Willi Dansgaard til James Bender I, 5. april 1961 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁶¹ Brev fra Willi Dansgaard til James Bender II, 25. september 1961 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

Site 2 kernen og var derfor interesseret i Dansgaards undersøgelser af kernen. Også kontakten til Langway lader dog til at være ophørt i foråret 1961 efter en kort kontakt. Den aftagende kontakt til CRREL skyldes desuden, at Dansgaard i 1961 fik travlt med nye projekter, som vil blive omtalt i næste kapitel. Først vil vi se lidt nærmere på de studier, der blev foretaget af den 411 m lange Site 2 kerne. Resultaterne af disse studier blev publiceret af Chester Langway i 1967.¹⁶²

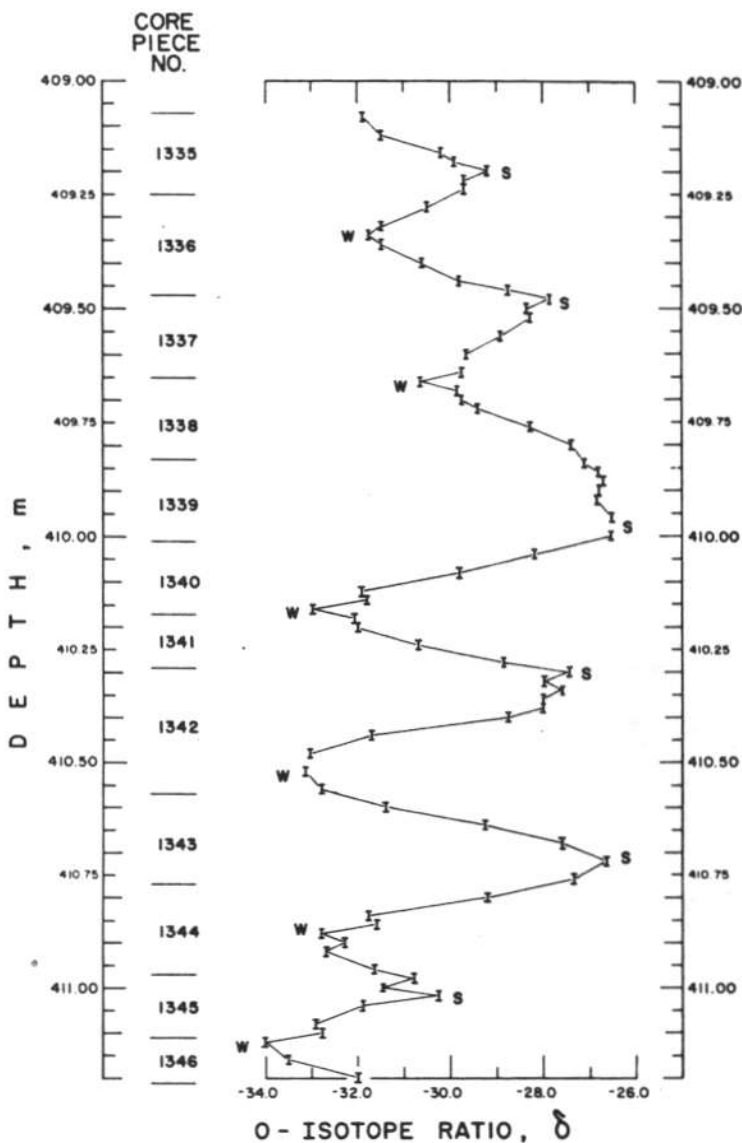
Det er vigtigt at holde sig for øje, at selvom den amerikanske, glaciologiske forskning i Grønland blev udført af militære forskningsinstitutioner, var en stor del af forskningen grundvidenskabelig og havde ikke nødvendigvis nogen direkte militær anvendelse eller interesse. Grænsen mellem grundforskning og militær forskning var ikke tydelig, hvis der overhovedet kan foretages en sådan skelnen. Under alle omstændigheder var undersøgelserne af Site 2 kernen i deres natur grundvidenskabelige på trods af resultaternes eventuelle militære anvendelser.

Størstedelen af analyserne af Site 2 kernen var traditionelle stratigrafiske analyser, hvor bl.a. identificering af vinter- og sommerlag blev anvendt til at datere kernen. Tykkelsen af lagene gav information om nedbøren i området og undersøgelser af densiteten af kernen kunne bruges til at studere firnifikationsprocessen. Derudover blev der foretaget bl.a. δ -analyser af kernen, men disse analyser blev af praktiske årsager kun foretaget på mindre dele: "Since it was physically impossible to study the entire core in minute detail, it was decided to limit any detailed investigation to continuous 1-1/2 to 4 m increments from about 100 m intervals...not enough for detailed climatic investigation".¹⁶³ Det studie, som Dansgaard i 1961 havde foreslået James Bender, blev altså ikke gennemført pga. de praktiske problemer ved at foretage δ -analyser langs hele kernen. De δ -analyser, der blev foretaget, blev udført af Samuel Epstein, der var en tidligere elev af Harold Urey. Selvom Epsteins analyser ikke gav ny information om klimaet tilbage i tiden, fik han nogle interessante resultater. Både i 100, 200 og 400 meters dybde viste δ -

¹⁶² Langway (1967).

¹⁶³ Ibid. p 28 - 29.

analyserne variationerne i lufttemperaturen i takt med årstidernes skiften. Selv i den nederste is, der var omkring tusind år gammel var variationerne tydelige.



Figur 16. Epsteins δ -målinger af Site 2 kernen. Disse målinger er fra et ca. to meter langt kernestykke fra godt 400 meters dybde. De årlige variationer i δ -værdien fremgår tydeligt. W betegner vintersne og S sommersne.

På trods af den umiddelbare succes med δ -analyserne af Site 2 kernen, havde samarbejdet mellem Chester Langway, der præparerede prøverne, og Samuel Epstein ikke fungeret optimalt. Under pakningen af iskernerne var to kerner tilsyneladende blevet vendt, og Epsteins resultater viste derfor nogle uforklarlige diskontinuiteter. Epstein, der ikke havde nogen praktisk erfaring med iskerneboringer, valgte dog at tro på sine resultater og publicerede dem anonymt i *Transactions of the American Geophysical Union*.¹⁶⁴ Langway, der selv havde deltaget i boringen ved Site 2, indså derimod fejlen og rettede den i sin publicering af resultaterne: "it was possible...to confirm that two core pieces had been placed in the wrong bags, and thereby a serious discrepancy in the O-isotope data was corrected".¹⁶⁵ Epstein anså det for dybt uvidenskabeligt på denne måde at efterrationalisere resultaterne, og uoverensstemmelsen med Langway betød, at de to ikke ønskede at arbejde sammen fremover.¹⁶⁶

De amerikanske forskere var således klar over, at det var muligt at studere fortidens klimaændringer ved at foretage δ -analyser af iskerner, men fordi tusindvis af prøver skulle analyseres, hvis et sådant projekt skulle føres ud i livet, valgte man at lade være. Dette kan skyldes, at de klimatiske studier på ingen måde har haft militær interesse. Derudover var Samuel Epstein involveret i mange andre forskningsprojekter og var ganske enkelt ikke interesseret i studier af iskerner. Dertil kommer, at Epstein oprindelig var uddannet hos Urey i Chicago, og Urey havde den filosofi, at isotopmålingerne skulle være så nøjagtige som muligt. Derfor ville en systematisk analyse af en flere hundrede meter lang iskerne repræsentere et enormt analysearbejde. Dansgaard derimod havde den filosofi, at det var vigtigere at måle mange prøver frem for at måle dem nøjagtigt, da naturen i sig selv ikke er så nøjagtig.

¹⁶⁴ Anonym (1959).

¹⁶⁵ Langway (1967) p. 12.

¹⁶⁶ Samtale med Willi Dansgaard.

Som sagt var Willi Dansgaards kontakt til CRREL begrænset i perioden fra 1961-1966. Dog har der været nogen kontakt, da Dansgaard i 1964 fik lejlighed til at besøge Camp Century sammen med civilingeniør Henrik Clausen, som Dansgaard havde ansat som assistent i 1962. Formålet med denne ekspedition havde ikke nogen relation til den amerikanske iskerneboring, der var undervejs ved Camp Century. Dansgaard og Clausen fik ikke lov til at se stedet, hvor boringen foregik, men holdt sig til en anden del af lejren, hvor de tog prøver af sneen i forskellige dybder med henblik på at undersøge nedfaldet af ^{32}Si fra atomprøvesprængninger. Besøget til Camp Century var et led i udviklingen af en ^{32}Si -dateringsmetode. Hvis denne metode skulle anvendes, var det nødvendigt at fastlægge, hvor store mængder ^{32}Si , der var tilført fra atomprøvesprængninger, og dette kunne netop gøres ved at undersøge den is, der var aflejret før prøvesprængningerne var begyndt. Is fra disse lag var blotlagt ved Camp Century-lejren, og det var derfor, at Dansgaard og hans assistent her indsamlede de tons materiale, der skulle til en analyse.¹⁶⁷

3.10 Camp Century-kernen

Med afslutningen af Camp Century-boringen i 1966 øjnede Willi Dansgaard på ny chancen for at realisere sin idé om klimatiske studier af iskerner, og denne gang ville han ikke lade chancen løbe sig af hænde. Han tog således kontakt til både Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland, KVUG, og Chester Langway, der havde ledet boringen ved Camp Century. I sit brev til KVUG fremlagde Dansgaard de spændende muligheder for palæoklimatiske studier, som både Site 2 kernen og Camp Century-kernen repræsenterede, og han understregede, at selvom det var ti år siden, at Site 2 kernen blev udboret, havde ingen endnu udnyttet denne mulighed.¹⁶⁸ For at undgå, at en sådan chance skulle forpasses på ny med Camp Century-kernen, anmodede Dansgaard Kommissionen om at søge hans

¹⁶⁷ Dansgaard (2000), p. 135ff.

¹⁶⁸ Brev fra Willi Dansgaard til Kommissionen for videnskabeligt arbejde i Grønland, 4. oktober 1966 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

sag – isotopanalysen af Camp Century-kernen – fremmet. Samtidig sendte Willi Dansgaard et projektforslag til Chester Langway, hvor han udførligt redegjorde for sin idé om et klimatisk isotopstudie af Camp Century-kernen.¹⁶⁹ På dette tidspunkt var projekt ”Iceworm” blevet lagt på hylden, da man ved Camp Century havde erfaret, at isen bevægede sig så hurtig, at gangsystemer under isen blev nedbrudt i løbet af ganske få år. Derfor havde forskningen ved Camp Century delvist mistet sin militære bevågenhed, hvilket sandsynligvis er en del af årsagen til Langways positive respons på Dansgaards henvendelse. Derudover tror jeg ikke, der kan være nogen tvivl om, at Langway selv har været interesseret i mulighederne for klimatiske studier – i sin publikation om Site 2 kernen, skrev han, at ”an opportunity exists to investigate any climatological trends and even significant meteorological disturbances that affected the world’s atmosphere, such as major temperature changes, volcanic eruptions or cosmic showers”.¹⁷⁰ Denne mulighed blev blot ikke udnyttet, fordi Dansgaards første forslag ikke blev fulgt op, og fordi ingen amerikanske laboratorier ønskede at stille den nødvendige analysekapacitet til rådighed.

Af Dansgaards forslag til Chester Langway fremgår det, at Dansgaard mente, at laboratoriet i København godt kunne overkomme det store analysearbejde, der skulle gennemføres, hvis Camp Century-kernen skulle bruges i et palæoklimatisk studie. At Dansgaards laboratorium i modsætning til amerikanske laboratorier havde mulighed for at løse denne store opgave havde flere årsager. Først og fremmest var det Dansgaard, der tolv år tidligere havde undfanget idéen om at foretage palæoklimatiske studier af den grønlandske indlandsis, og virkeliggørelsen af denne idé var derfor et personligt projekt for ham. Dertil kommer, at Dansgaard som tidligere nævnt havde en særegen filosofi for, hvordan isotopmålinger skulle foretages. Den amerikanske tradition – der stammede fra Ureys institut i Chicago – gik ud på, at målingerne skulle være så nøjagtige som muligt. Dansgaard derimod

¹⁶⁹ Brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway. Projektforslag ang. undersøgelse af Camp Century-kernen., 27. oktober 1966 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁷⁰ Langway (1967), p. 7.

mente, at det var vigtigere at kunne måle et stort antal prøver frem for at måle dem meget nøjagtigt. Dansgaard's filosofi betød, at en systematisk analyse af Camp Century-kernen ikke repræsenterede nær så stort et analysearbejde for den danske gruppe, som det gjorde for amerikanske forskere.¹⁷¹

Ifølge Dansgaard selv var der endvidere en stor interesse for palæoklimatiske studier i Danmark på dette tidspunkt. Interessen var i høj grad ansporet af resultaterne fra EGIG-ekspeditionen i slutningen af 1950'erne. Som tidligere nævnt havde Dansgaard modtaget prøver fra iskerner udboret under EGIG, der var op til 20 meter lange, og dermed indeholdt nedbør fra perioden efter 1910. Dansgaard foretog isotopanalyser af kernerne, og resultaterne blev bl.a. publiceret i tidsskriftet *Grønland* i samarbejde med geologen Anker Weidick.¹⁷² Analyserne bekræftede den globale opvarmning, som havde fundet sted siden århundredets begyndelse, men derudover viste de, at temperaturen siden 1940'erne var faldet næsten svarende til den foregående temperaturstigning. Da den opvarmning, der havde fundet sted i Grønland siden begyndelsen af århundredet, havde dannet grundlag for omlægningen af fiskeriet, og da denne omlægning udgjorde det økonomiske grundlag for moderniseringen af det grønlandske samfund, kunne et temperaturfald få store konsekvenser. Ifølge Dansgaard havde de nye resultater, der pegede i retning af et temperaturfald, derfor fået stor opmærksomhed: "...my O¹⁸ measurements on the EGIG cores...have highly increased the interest for "isotope-climatology" in this country, both inside and outside scientific circles".¹⁷³ Den øgede interesse for isotopklimatologi, som Willi Dansgaard omtaler, kan ikke omfatte en bredere offentlighed, da en gennemgang af *Dansk Aviskronikindeks* fra 1960'erne viser, at der ikke var nogen større avisartikler om emnet. Interessen har nærmere været stor i politiske kredse, hvor der på dette tidspunkt var en ivrig debat om moderniseringen af det grønlandske samfund og om fiskeriets rolle i denne

¹⁷¹ Samtale med Willi Dansgaard.

¹⁷² Dansgaard *et al.* (1965).

¹⁷³ Brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway. Projektforslag ang. undersøgelse af Camp Century-kernen., 27. oktober 1966 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

proces. At det især var den politiske interesse, der var stor, understreges i et brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway, der er skrevet, efter at arbejdet med Camp Century-kernen blev påbegyndt: "[o]ur results will be considered carefully by the people who are planning the future economic activity in Greenland".¹⁷⁴ Den politiske interesse for Dansgaards forskning har i høj grad kunnet sikre ham midler til at gennemføre sit ambitiøse projekt. Dette ses af de bevillinger, Dansgaard fik fra starten af 1967 til udgangen af 1969. I denne knap treårige periode modtog Dansgaard samlet bevillinger på over 170.000 kr. til arbejdet med Camp Century-kernen.¹⁷⁵ Bevillingerne kom udelukkende fra Carlsbergfondet, der generelt støttede Dansgaards forskning betydeligt. Alt i alt fik Dansgaard bevillinger fra Carlsbergfonden på godt 400.000 i perioden fra 1966-1969 til iskernestudier og undersøgelser af Indlandsisens flydemønstre. Selvom bevillingerne ikke var ekstraordinært store, viser det, at Dansgaard har fået en velvillig behandling og under ingen omstændigheder har haft problemer med at skaffe penge til sine forskningsprojekter.

Den chance, Willi Dansgaard greb, da han foreslog Chester Langway, at den københavnske gruppe skulle foretage isotopanalyser af den 1390 meter lange kerne, indebar muligheden for realiseringen af den idé, som Dansgaard havde fået i 1954 og arbejdet hen imod lige siden, men den indebar også, at et unikt forskningsobjekt kom på danske hænder. Som Dansgaard understregede i sin første ansøgning til Carlsbergfondet om midler til analysearbejdet, så var "forsøget på at trænge helt igennem Indlandsisen først lykkedes efter 10 års arbejde med investering af adskillige snese millioner dollars" – er projekt, der aldrig kunne være gennemført for danske midler. Ifølge Dansgaard har Chester Langway ofte været upopulær blandt amerikanere, fordi han valgte at lade danske forskere være ene om isotopanalysen af Camp Century-kernen.¹⁷⁶ Årsagen var dog ikke udelukkende, at Langway ikke ønskede at arbejde sammen med amerikanske forskere. Tilfældet

¹⁷⁴ Brev til Chester Langway I, 15. januar 1968 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁷⁵ Bevillingsansøgninger til og svar fra Carlsbergfondet, 1967-1968 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁷⁶ Dansgaard (2000), p. 148.

med Site 2 kernen viser, at der ganske enkelt ikke var interesse fra amerikansk side for at foretage de isotopklimatologiske undersøgelser, som Dansgaard havde i tankerne. Fordi systematiske studier – både af en kerne som Site 2 kernen og i særdeleshed af en dybdekerne som Camp Century-kerne – ville lægge beslag på et laboratoriums ressourcer i mange måneder, var ingen amerikanske forskere interesseret i at påtage sig dette projekt. Dertil kommer, at ingen forskere havde samme personlige motivation som Willi Dansgaard for at foretage et klimatologisk iskernestudie. Den oplagte amerikanske kandidat til at foretage isotopstudier af Camp Century-kerne var Samuel Epstein, som Langway havde arbejdet sammen med omkring Site 2 kernen, men deres uoverensstemmelse omkring forbytningen af to kernestykker har sandsynligvis gjort, at et større samarbejde ikke var muligt.¹⁷⁷

3.11 Resultater fra Camp Century-kerne

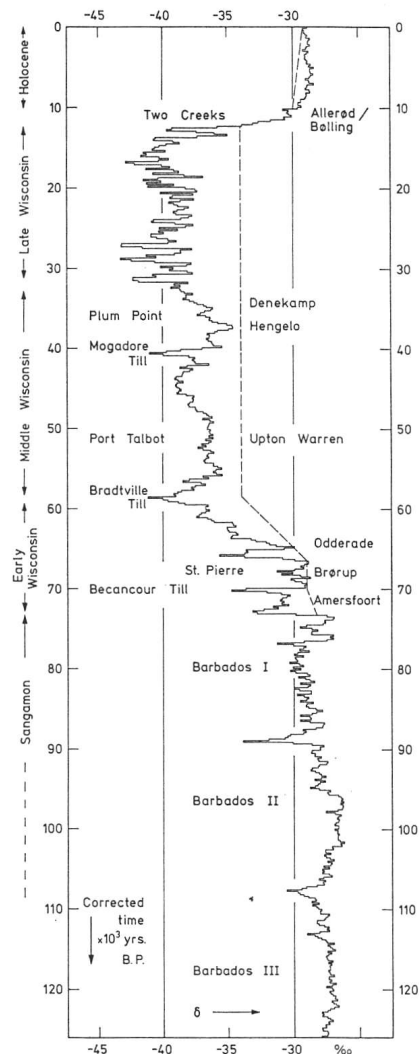
I januar 1968 modtog Willi Dansgaard de første prøver fra Camp Century-kerne. Kerne, der var opmagasineret i et frysehus ved CRREL i USA, skulle deles i mindre sektioner, før de kunne sendes til analyse ved Dansgaards laboratorium i København. Da det var Chester Langway, der alene stod for dette arbejde, havde det taget adskillige måneder, før analysearbejdet kunne begynde. Da man endelig kom i gang, gik det til gengæld hurtigt med at få resultater. Allerede et par uger senere forelå de første resultater, der dækkede udviklingen siden starten af det 20. århundrede.¹⁷⁸Ligesom det var tilfældet med EGIG-kernerne, viste analyserne af Camp Century-kerne den varme periode i århundredets første halvdel og den afkøling, der havde fundet sted siden 1940'erne. Derudover var der en pæn overensstemmelse mellem resultaterne og temperaturobservationer fra meteorologiske stationer i Nordvestgrønland. Dette underbyggede, at isotopmetoden var anvendelig som temperaturindikator.

Det viste sig dog at være et praktisk problem, at klargørelsen af prøverne tog så lang tid. Derfor blev kemikeren Jørgen Møller, der var kommet til Dansgaards

¹⁷⁷ Ibid.

¹⁷⁸ Brev til Chester Langway II, 30. januar 1968 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

gruppe i 1964, sendt til CRREL i sommeren 1968 for at hjælpe med udkæringen af prøverne. Senere besøgte både Sigfus Johnsen og Henrik Clausen, der også var blevet tilknyttet gruppen i starten af 1960'erne, CRREL og fortsatte arbejdet med klargøringen af prøverne. Således udviklede der sig både et nært samarbejde og venskaber, der senere skulle danne grundlaget for nye iskernestudier.

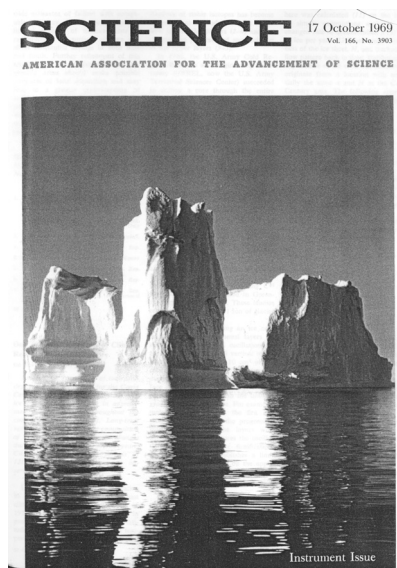


Figur 17. Isotopmålinger fra Camp Century-kernen. Tidsskalaen går op og lave δ -værdier og dermed kolde perioder er til venstre. I toppen ses den nuværende mellemistid, og man ser tydeligt overgangen fra sidste istid, hvor man bl.a. kan identificere de korte varmeperioder Allerød og Bølling. Man ser også, at klimaet varierede meget voldsommere under istiden, end det gør i dag.

I august 1968 forelå de første resultater fra hele Camp Century-kernen.¹⁷⁹ Også på længere tidsskalaer end de knap hundrede år, som de første prøver havde dækket, viste målingerne sig at stemme overens med kendte klimabegivenheder. Resultaterne viste det klimatiske optimum for knap 6000 år siden og et drastisk temperaturstigning ved overgangen fra sidste istid

¹⁷⁹ Brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway III, 9. august 1968 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

for ca. 10.000 år siden. Derudover havde de nederste meter af den 1390 m lange iskerne højere δ -værdier, hvilket skulle svare til en stigning i temperaturen i den periode, som kernestykket repræsenterede. Dette kunne være forrige mellemistid, hvilket tydede på, at kernen indeholdt is, der var langt over 120.000 år gammel. De banebrydende resultater blev publiceret i de prestigefyldte tidsskrifter *Science* og *Nature*.¹⁸⁰ I oktoberudgaven af *Science* fra 1969 prydede isbjerge ved den vestgrønlandske kyst forsiden som illustration til artiklen om Camp Century-kernen.



Figur 18. Forsiden af *Science* fra 17. oktober 1969.

Af artiklen fremgår det, at det største problem i forbindelse med fortolkningen af resultaterne, var dateringen af iskernen. I den øverste kilometer af isen kunne man følge de årlige variationer i δ -værdierne og derfor tælle årlagene, men dette stykke rakte kun 6-8000 år tilbage i tiden. Heller ikke kulstof-14 eller Silicium-32 datering kunne anvendes på kernen, da der skuldet meget store mængder is til at

¹⁸⁰ Dansgaard *et al.* (1969b) og Johnsen *et al.* (1970).

foretage disse målinger. I stedet måtte man basere dateringen på en model for isens flydemønstre. Her kom det arbejde, som Dansgaards gruppe havde udført i det foregående tiår dem til gode. Willi Dansgaard havde sammen med Sigfus Johnsen opstillet en model for Indlandsisens bevægelse – en model der siden har fået betegnelsen *Dansgaard-Johnsen modellen*.¹⁸¹ Modellen var bl.a. baseret på, at isens horisontale bevægelse var konstant ned til 400 meter over klippegrunden. Herunder faldt isens hastighed pga. friktion med underlaget. På baggrund af denne model var det muligt at vurdere isens alder som funktion af dybden. Fastsættelse af isens alder som funktion af dybden var meget vigtig, da dateringen var udgangspunktet for udkæringen af prøver fra kernen. Prøverne skulle gerne være ækvidistante i tid, og da de øverste godt 1100 meter af kernen ifølge modellen repræsenterede 10.000 år og de nederste godt 200 meter de foregående 100.000 år, skulle der tages langt flest prøver i den nederste del. Sammenligning med andre palæoklimatiske studier, f.eks. studier af havkerner og pollen, viste en pæn overensstemmelse med de registrerede klimavariationer i Camp Century-kernen og underbyggede derved, at flydemodellen gav en rimelig datering af kernen.

Den høje tidlige opløsning af δ -målingerne var noget af det mest banebrydende ved Camp Century-kernen. Selv i is, der var op mod hundrede tusinde år gammelt kunne man skelne ændringer i δ -værdien inden for få århundreder. Denne tidsopløsning overgik langt andre klimaarkiver, der rakte lige så langt tilbage i tiden. Dermed kunne man i Camp Century-kernen se, at der gennem hele den godt hundredetusindårige periode havde været utallige tilfælde af betydelige klimaændringer selv over kortere perioder. Flere af disse klimaændringer tydede endda på at være ganske voldsomme – noget der ikke havde været set i samme grad andre steder. Dog var der det forbehold, at de nedre dele af Camp Century-kernen kunne være forstyrret som følge af isens bevægelse, og nye iskernestudier måtte derfor til for at underbygge resultaterne: "the significance of such apparently catastrophic events, as well as the time scale applied, and the climatic and

¹⁸¹ Dansgaard *et al.* (1969a).

glaciological implications of the more general trends of the Camp Century curve all call for further investigations”.¹⁸²

Den høje tidsopløsning af klimakurven gav endvidere mulighed for en undersøgelse af klimaændringernes periodicitet. I *Science*-artiklen fremlagdes resultaterne af en frekvensanalyse af ændringerne i δ -værdierne siden sidste istid. Analysen viste, at klimaet tilsyneladende varierede med en periode på knap 1000 år og på kortere tidsskalaer med en periode på 120 år. Der argumenteredes desuden for, at disse klimaændringer kunne skyldes ændringer i solaktiviteten, da undersøgelser havde vist, at kulstof-14 indholdet i atmosfæren – der er en indikator for solaktiviteten – havde varieret med samme periodicitet. Dansgaard og hans kolleger var dog ikke primært interesseret i at forstå klimaændringernes årsager, de var derimod interesserede i at påvise periodiske klimaændringer, der kunne anvendes som målestok til at datere kernen. Det mest bemærkelsesværdige resultat af isotopanalysen af Camp Century-kernen var således, at det var blevet demonstreret, at den idé, som Dansgaard havde præsenteret i 1954, ikke blot kunne føre til bestemmelsen af klimaets udvikling gennem de seneste århundreder, men nærmere gennem de sidste hundrede tusind år! De mere detaljerede resultater af analysen var meget lovende – de viste overraskende pludselige klimasvingninger, men hvis dette skulle underbygges, var det nødvendigt med nye iskernestudier. Som vi vil se på i næste kapitel, var det et projekt som, med udgangspunkt i samarbejdet mellem Chester Langway, Willi Dansgaard og den schweiziske fysiker Hans Oeschger, blev realiseret op gennem 1970'erne.

¹⁸² Dansgaard *et al.* (1973).

Kapitel 4. Iskerneforskning som Big Science

Realiseringen af Willi Dansgaards idé om at rekonstruere klimaets variationer gennem isotopstudier af den grønlandske indlandsis skyldtes i høj grad den ihærdighed og opfindsomhed, der prægede Dansgaards arbejde. Men i den knap tyveårige periode, som hidtil er blevet behandlet – fra starten af 1950'erne til ca. 1970 – arbejdede Willi Dansgaard langt fra alene. Op gennem 1960'erne fik han opbygget en gruppe af fysikere, ingeniører og laboranter, der i 1970'erne dannede grundlaget for den danske deltagelse i et internationalt samarbejde om studier af den grønlandske indlandsis.

Med sit fokus på isotop-meteorologi – og senere isotop-glaciologi – var Dansgaard i 1950'erne malplaceret på Biofysisk Laboratorium. Der manglede et fagligt miljø, der kunne stimulere Dansgaards geofysiske forskning, men denne mangel rådede han i en vis udstrækning på ved at opbygge netværk til udenlandske forskere, der beskæftigede sig med relateret forskning. Bortset fra tilfældet med Urey og Craig var disse forbindelser i det fleste tilfælde yderst frugtbare.¹⁸³ Grunden til, at Dansgaard fik lov til at forfølge sine geofysiske forskningsprojekter på trods af sin ansættelse ved Biofysisk Laboratorium, skal bl.a. findes i, at der ikke fandtes et behov for anvendelsen af den massespektroskopiske metode inden for det fysiologisk-medicinske område. Derudover var laboratoriets ledere – i første omgang H.M. Hansen og efter hans død Jørgen Koch – begge fysikere og ikke biologer, og de har begge kunnet se kvaliteten i Dansgaards geofysiske studier. Dertil kom, at Jørgen Koch tidligere havde beskæftiget sig med massespektrografi, og hans specialeområde var derfor nært beslægtet med Dansgaards.¹⁸⁴

Spørgsmålet om Dansgaards faglige tilhørsforhold blev i første omgang løst, da Biofysisk Laboratorium efter opførelsen af H.C. Ørsted Instituttet i 1963 flyttede

¹⁸³ Dette var i høj grad gældende for hans samarbejde med Per Scholander i slutningen af 1950'erne og starten af 1960'erne og for samarbejdet med SIPRE i samme periode.

¹⁸⁴ Dansgaard (2000), p. 81.

ind i de nye bygninger og blev omdøbt til Fysisk Laboratorium II. I 1960 havde Dansgaard skrevet en disputats om sine studier på Scholanders ekspedition, og i 1962 var han af Jørgen Koch blevet indstillet til – og fik – et ekstraordinært professorat i massespektroskopi.¹⁸⁵ Da Dansgaard efter udflytningen til H.C. Ørsted Instituttet fik tilknyttet flere medarbejdere, udvikledes en selvstændig gruppe under Fysisk Laboratorium II, hvis arbejde koncentreredes om anvendelsen af massespektroskopien i hydrologiske studier.

Udbygningen af gruppen op gennem 1960'erne var i stor udstrækning baseret på et stort analyseprojekt, som Dansgaard i starten af årtiet blev involveret i. Jørgen Koch, der fortsat var leder af Fysisk Laboratorium II, havde en bror, Hans Henrik Koch, der på dette tidspunkt var formand for den danske Atomenergikommission og derigennem havde forbindelse til *International Atomic Energy Agency* IAEA. Som Dansgaard selv har beskrevet, var en af IAEA's funktioner at ”overvåge global forurening med radioaktive stoffer i forbindelse med atombombesprængninger og utilsigtede udslip fra atomkraftværker. Et vigtigt led i kontrollen med forureningen var oprettelsen af et globalt netværk af stationer, der systematisk skulle indsamle månedlige prøver af såvel luft som nedbør, et projekt der blev organiseret i samarbejde med World Meteorological Organisation og kaldt *The WMO-IAEA Global Precipitation Network*”.¹⁸⁶ Gennem H.H. Koch fik Dansgaard mulighed for at deltage i analysen af de systematisk indsamlede vandprøver, der dækkede store dele af verden. Dansgaard fik til opgave at analysere indholdet af ¹⁸O og deuterium. Deltagelsen i samarbejdet åbnede op for en række nye muligheder: bl.a. nødvendiggjorde det store antal prøver en udvidelse af laboratoriets kapacitet, og gennem Carlsbergfondet og Statens Almindelige Videnskabsfond modtog Dansgaard i starten af 1960'erne midler til indkøb af to nye massespektrometre. Også den personalemæssige kapacitet måtte udvides for at følge med arbejdsbyrden, og i de følgende år ansattes både en ekstra laborant, to

¹⁸⁵ Ibid. p. 113.

¹⁸⁶ Ibid. p. 115ff.

civilingeniører og en fysiker.¹⁸⁷ Arbejdet for IAEA var godt betalt og muliggjorde, at de nyansatte også kunne tage del i andre projekter. Den første akademiker, der blev tilknyttet, var kemiingeniøren Henrik Clausen, der allerede under sit studie havde arbejdet i Dansgaards laboratorium, og i 1963 blev ansat til at stå for den kemiske præparation af isprøver med henblik på bestemmelse af ^{32}Si -indholdet. I 1964 ansattes endnu en kemiingeniør, Jørgen Møller, der som hovedopgave fik ansvaret for et nyt massespektrometer, der udelukkende blev brugt til kemiske analyser. På samme tidspunkt kom en islandsk fysikstuderende, Sigfus Johnsen, til laboratoriet.¹⁸⁸ Johnsen arbejdede på at konstruere et massespektrometer og var derfor blevet henvist til Dansgaards laboratorium. Han endte dog med som eksamensprojekt at konstruere en meget nøjagtig tæller, der kunne detektere den svage radioaktivitet fra ^{32}Si i isprøverne.

Det store arbejde med at analysere prøverne fra IAEA-netværket var den overvejende grund til, at Willi Dansgaard ikke fulgte yderligere op på sin henvendelse til James Bender i 1961 om at foretage isotopanalyser af Site 2 kernen.¹⁸⁹ I stedet koncentrerede gruppen sig i de følgende år om forbedringen af en isdateringsmetode ved at anvende ^{32}Si -isotopen og om isotopanalyserne af prøverne fra IAEA. De systematiske isotopanalyser lå i direkte forlængelse af de analyser, som Dansgaard havde foretaget i starten af 1950'erne af prøver indsamlet gennem ØK's netværk. Forskellen var blot, at Dansgaard nu ikke måtte nøjes med en engangsindsamling, men kunne følge den årlige variation i den isotopiske sammensætning af nedbør i store dele af verden. De mange resultater af analyserne blev publiceret i 1964 i artiklen *Stable Isotopes in Precipitation*, der fik stor opmærksomhed og dannede det teoretiske grundlag for mange af de isotopstudier, der senere blev foretaget i gruppen.¹⁹⁰

¹⁸⁷ Ibid. p. 119 og Bevillingsansøgninger til og svar fra Carlsbergfondet, 1960-1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

¹⁸⁸ Interview med Sigfus Johnsen.

¹⁸⁹ Samtale med Willi Dansgaard.

¹⁹⁰ Dansgaard (1964).

Da Dansgaard i 1968 fik adgang til at analysere den amerikansk udborede iskerne fra Camp Century, blev arbejdet med IAEA-analyserne droslet ned for til sidst at ophøre helt i 1972. Dansgaards medarbejdere blev hurtigt involveret i det nye projekt; som nævnt rejste både Møller, Clausen og Johnsen af flere omgange til USA for at deltage i klargøringen af prøverne sammen med Chester Langway. Fra dette tidspunkt var langt størstedelen af gruppens forskning koncentreret omkring studiet af iskerner og – som der vil blive set nærmere på senere – udvikling af teknologi til at udbore og analysere kernerne. Den danske gruppe oversteg aldrig mere end fem-seks fastansatte forskere plus tilhørende teknikere og laboranter, og i de to følgende årtier – fra 1970 og frem – var der kun ganske få udskiftninger i medarbejderstaben. Dette skyldes måske delvist en særlig politik, Willi Dansgaard havde, når nye medarbejdere skulle ansættes. I en sådan situation lagde Dansgaard vægt på tre egenskaber i prioriteret rækkefølge: 1) Om personen var omgængelig, 2) om personen var dygtig, og 3) om personens kvalifikationer var sammenfaldende med kvalifikationerne hos andre medlemmer af gruppen.¹⁹¹ Hvad den tredje egenskab angik, ansatte Dansgaard kun personer, hvis specialeområde ikke var sammenfaldende med de specialer, der allerede var repræsenteret. Denne politik resulterede i en meget alsidig og socialt velfungerende gruppe, hvor alle var tvunget til at arbejde sammen. Strategien har uden tvivl været en af årsagerne til, at den danske gruppes bidrag til iskerneforskningens udvikling op gennem 1970'erne blev så stort. Det følgende årti skulle vise sig at byde på mange både faglige og sociale udfordringer i forbindelse med de mange, ofte langvarige ekspeditioner til den grønlandske iskappe.

4.1 Opbygningen af et internationalt samarbejde

Efter afslutningen af den amerikanske boring ved Camp Century blev iskerneboret, der havde været brugt til gennemboringen af isen, transporteret til Antarktis, hvor der også foregik glaciologisk forskning. Her udborede man en godt

¹⁹¹ Samtale med Willi Dansgaard.

to kilometer lang kerne gennem iskappen i 1967-68 ved Byrd Station i Vestantarktis. Som det havde været tilfældet med boringen ved Camp Century, var projektet finansieret af det amerikanske National Science Foundation (NSF) og udført af CRREL.¹⁹² Da boringen ved Byrd var afsluttet, var det oplagt, at en isotopanalyse skulle gennemføres, da resultaterne fra Camp Century havde fået så stor opmærksomhed. NSF ønskede naturligt nok, at isotopanalysen skulle udføres af amerikanske forskere, og den eneste, der havde ekspertisen, var fortsat Samuel Epstein. Men efter den uheldige uoverensstemmelse mellem Langway og Epstein i forbindelse med analysen af Site 2 kernen, var det ikke en opgave, som Epstein var synderligt interesseret i at påtage sig. Derudover interesserede han sig ganske enkelt ikke for studier af iskerner. På grund af presset fra NSF gennemførte han dog enkelte analyser af prøver fra Byrd-kernen. Antallet af prøver, Epstein analyserede, var meget sparsomt, og de var jævnt fordelt gennem kernen på trods af, at årlagene ligger tættere, jo længere man kommer ned. Derfor var Epsteins analyser ubrugelige, og sagde hverken noget om isens fysiske egenskaber eller om klimaets udvikling gennem den periode, kernen repræsenterede.¹⁹³

Chester Langway, der langt hellere ville samarbejde med Dansgaards gruppe, som han anså for mere kompetent til at udføre opgaven, opfordrede Dansgaard til at søge NSF om tilladelse til at foretage isotopanalyser af Byrd-kernen. For ikke at komme i karambolage med NSF's ønske om, at deres investering i iskerneboringerne fortrinsvis skulle komme amerikanske forskere til gode, bad Dansgaard om at få adgang til kernen "when Dr. Epstein has terminated his studies on the Byrd core".¹⁹⁴ NSF imødekom Dansgaards ansøgning, hvor han tilbød, at lave systematisk analyse af hele kernen uden yderligere udgifter for NSF.

Resultaterne fra Byrd-kernen blev publiceret i *Nature* i 1972.¹⁹⁵ Isotopmålingerne afspejlede klimavariationer i stil med dem, der var fundet i Camp Century, men

¹⁹² Dansgaard (2000), p. 159.

¹⁹³ Samtale med Willi Dansgaard.

¹⁹⁴ Dansgaard (2000), p. 159.

¹⁹⁵ Johnsen *et al.* (1972).

fordi der var en kraftig afsmeltning ved bunden af iskappen rakte kernen ”kun” omkring 90.000 år tilbage. Derudover havde den lave akkumulation – det, at der falder meget mindre sne på Antarktis end i Grønland – den konsekvens, at de årlige svingninger i isotopsammensætningen ikke kunne måles. Det gjorde samtidig, at detaljegraden, hvormed man kunne følge ændringer i klimaet, var langt mindre end i de grønlandske iskerner. Derfor var der ikke som i de grønlandske iskerner mulighed for absolutdatering ved at tælle de årlige svingninger i isotopsammensætningen. Boringen ved Byrd Station viste dermed, at palæoklimatiske studier af den antarktiske is var mulig, men at den tidsopløsning og mulighed for absolutdatering, der var i de grønlandske iskerner, var unik.

Efter succesen med analyserne af Camp Century-kernen og sideløbende med studiet af Byrd-kernen begyndte man både fra dansk og fra amerikansk side at gøre tiltag til at fortsætte de klimatiske studier af den grønlandske indlandsis. Første skridt på vejen blev taget i foråret 1970, da et forslag om flere iskerneboringer i Grønland blev præsenteret for Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland, KVUG, og et møde blev afholdt i København med repræsentanter fra både Ministeriet for Grønland og NSF. I et brev fra departementchef i Grønlandsministeriet, Erik Hesselbjerg, til lederen af NSF’s Office of Polar Programs, Philip Smith, omtaler Hesselbjerg dette møde: ”...obviously there is a keen interest on the part of the National Science Foundation to develop Danish/American cooperation on the glaciological drilling program in Southern Greenland”. Om den danske støtte til projektet skriver han, at ”[t]he project was met with enthusiasm by the members of the Commission [KVUG] and their recommendation has motivated the Ministry for Greenland to issue their approval of the project from a scientific angle and also to give it a high priority on the list of programs to be carried out within the next few years”.¹⁹⁶ Den store støtte både fra dansk og amerikansk side skyldes uden tvivl den store opmærksomhed, der havde været omkring de revolutionerende resultater fra Camp Century-kernen. Men

¹⁹⁶ Brev fra Erik Hesselbjerg til Philip Smith I, 19. august 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

derudover var der fra dansk side også andre grunde til at støtte projektet. Økonomisk set havde Grønland altid været en underskudforretning for Danmark, og i de foregående to årtier havde der været – og var stadig – mange problemer i forbindelse med moderniseringen af det grønlandske samfund. Selvom Grønland i flere årtier havde været genstand for mange dansklede forskningsprojekter, var iskerneforskningen et af de få områder, hvor Grønland kunne bringe Danmark helt i front. Med andre ord var iskerneforskningen en solstrålehistorie blandt mange problemhistorier fra Grønland.¹⁹⁷

Som det fremgår af Hesselbjergs brev, var der stor støtte til nye iskernestudier i Grønland fra amerikansk side, men set fra et amerikansk synspunkt var der også ulemper ved samarbejdet. Det faktum, at Grønland er dansk, og at danske instanser derfor havde den overordnede styring med alle forskningsprojekter i Grønland, lod ikke til at hve NSF. Ordningen i Grønland stod i kontrast til Antarktis, hvor alle de nationer, der bedrev forskning, havde frie hænder, så længe de holdt sig til et afgrænset område.¹⁹⁸ Derfor kontaktede Philip Smith fra NSF Erik Hesselbjerg og foreslog, at der oprettedes en instans med medlemmer fra både NSF og Grønlandsministeriet: "...there has been some interest in the development of an international scientific planning body which is similar to the Scientific Committee for Antarctic Research of International Council of Scientific Union".¹⁹⁹ Smith skrev, at et sådant organ skulle fremme den videnskabelige kommunikation mellem de to lande, og at "[t]his correspondence and discussion, however, should go on in a manner that keeps the appropriate office in each country fully informed". For at lægge op til en fælles planlægning af de videnskabelige aktiviteter i Grønland udbad Philip Smith sig endvidere informationer om aktuel forskning i Grønland, og hvad der var af fremtidige planer. I de umiddelbart tilgængelige kilder foreligger der ikke noget svar på Smiths brev, dog omtales det i en henvendelse til Willi Dansgaard, hvor det nævnes, at Smiths brev er udarbejdet sammen med en videnskabelig

¹⁹⁷ Samtale med Willi Dansgaard.

¹⁹⁸ Interview med Claus Uffe Hammer.

¹⁹⁹ Brev fra Philip Smith til Erik Hesselbjerg, 4. august 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

attaché ved den danske ambassade i Washington. Det er tvivlsomt, om brevet har vakt begejstring i Grønlandsministeriet. De fleste har sikkert haft den holdning, at amerikanerne allerede ved forsvarsaftalen i 1951 havde fået alt for vide beføjelser i Grønland. At Danmark derfor frivilligt skulle gå på kompromis med sin suverænitæt og lade NSF indgå på lige fod i planlægningen af forskningen i Grønland, er højst usandsynligt. Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland skulle informeres om og godkende alle forskningsaktiviteter, og dette blev der ikke ændret på. Op gennem 1970'erne fortsatte man med at afholde årlige møder i København – såkaldte amerikanermøder – hvor amerikanerne skulle fremlægge deres planer for det kommende år.²⁰⁰ Uanset hvad henvendelsen har medført, lader det derfor ikke til, at det har haft den store indflydelse på planlægningen af nye iskernestudier.

I slutningen af august 1970 bevilgede finansudvalget 750.000 kr. til den danske deltagelse i studier af den grønlandske iskappe. Det planlagte projekt inkluderede både radarsonderinger for at kortlægge undergrunden, shallow- og ”intermediate”-boringer (ned til hhv. 100 og 400 meters dybde) og en dybdeboring.²⁰¹ Bevillingen var betinget af, at NSF finansierede den planlagte amerikanske deltagelse samt logistikken. Tilkendegivelsen om finansiering fra NSF, var dog lang tid undervejs, og truede en overgang med at forsinke hele projektet. Den primære årsag til ventetiden var, at Præsident Nixon nedlagde veto mod dele af den amerikanske finanslov, og NSF's budget var derfor usikkert.²⁰² Det resulterede i, at de danske midler blev stillet i bero, og først i december 1970 kom den endelige tilkendegivelse om, at de amerikanske midler var frigivet. Usikkerheden omkring NSF's budget var dog ikke nødvendigvis hele forklaringen på de manglende udmeldinger om finansiering. Iskernestudierne i Grønland var højt prioriterede – og billige i sammenligning med projekterne i Antarktis – og NSF kunne godt på trods af Præsidentens veto have garanteret, at midlerne ville blive stillet til rådighed. Når

²⁰⁰ Taagholt (2002b), p. 55.

²⁰¹ Brev fra Willi Dansgaard til Philip Smith II, 21. august 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²⁰² Brev fra Willi Dansgaard til Ministeriet for Grønland, 28. oktober 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling)

dette ikke var tilfældet, kan det være et udtryk for, at amerikanerne ønskede at demonstrere deres kontrol over projekterne i Grønland; når de nu ikke kunne kontrollere planlægningen af aktiviteter i Grønland, så kunne de i det mindste styre den økonomiske del af projektet. De samlede omkostninger var estimeret til 10-12 mio. kr., og projektets gennemførelse var derfor fuldstændig afhængigt af det amerikanske bidrag.²⁰³ At finansieringsproblemerne på denne måde skulle skyldes en form for arrogance, underbygges af Willi Dansgaards oplevelser under et besøg ved NSF i oktober 1970. Dansgaard var inviteret til USA for at diskutere planerne for de kommende år, men ved mødet i NSF dukkede chefen for Office of Polar Programs, Philip Smith, slet ikke op. Dansgaard skrev i et brev til Chester Langway: "I sincerely regret the last visit to the States. The attitude of the NSF has made the Ministry look through the files for a clear, written and official approval, which was a condition for the release of our 100,000\$. Since no such approval could be found, the Ministry decided that the money cannot be used for the time being."²⁰⁴

Først i starten af december 1970 kom den endelige bekræftelse fra NSF om, at midlerne til den amerikanske deltagelse i det dansk-amerikanske glaciologiske samarbejde var bevilget. Dette var netop tids nok til, at det planlagte program for 1971 kunne realiseres.

4.2 Studier af Indlandsisen og oprettelsen af GISP

Hovedformålet med samarbejdet om glaciologisk forskning i Grønland var udboringen af iskerner til Indlandsisens bund og efterfølgende isotopanalyse af kernerne. Men derudover var der mange andre elementer i projektet. Foruden Dansgaards gruppe deltog en gruppe fra Danmarks Tekniske Højskoles Laboratorium for elektromagnetisk feltteori.²⁰⁵ Her havde lektor Preben

²⁰³ Ansøgning til Finansudvalget fra Ministeriet for Grønland, 10. august 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²⁰⁴ Brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway II, 9. november 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²⁰⁵ Brev fra Willi Dansgaard til Landshøvdingen i Godthåb og de videnskabelige forbindelsesofficerer i Thule og Søndre Strømfjord angående planer for 1971-sæsonen, 17. april 1971 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

Gudmandsen udviklet en radar, der kunne anvendes til at kortlægge Indlandsisens tykkelse og den underliggende topografi. Sådanne studier kunne dels anvendes til at studere Indlandsisens massebalance og bevægelse ved at undersøge ændringer i istykkelsen, og dels til at lokalisere områder, der var gunstige til iskerneboringer. Hvad det sidste punkt angik, var områder med en simpel topografi – uden for mange, høje bjerge – mest fordelagtige til iskerneboringer, da der i sådanne områder ville være mindst mulig forstyrrelse af lagdelingen i de nedre dele af isen.



Figur 19. Willi Dansgaard, Chester Langway og Hans Oeschger.

Udover de danske og amerikanske deltagere i samarbejdet blev en schweizisk gruppe ved universitetet i Bern involveret. Lederen af denne gruppe var fysikeren Hans Oeschger, der i slutningen i 1960'erne havde arbejdet sammen med Chester Langway om udviklingen af en metode til at udvinde bl.a. CO₂ fra isen gennem et borehul. Denne CO₂ kunne efterfølgende anvendes til kulstof-14 datering, så man ikke var tvunget til at transportere flere tons is til et laboratorium, som man hidtil havde gjort. Derudover åbnede metoden op for muligheden for at datere dybere lag i isen, hvilket heller ikke tidligere havde kunnet lade sig gøre. Dansgaard, Langway og Oeschger kom, som repræsentanter for de tre deltagende lande, til at danne

kernen i samarbejdet i de følgende år. Op gennem 1970'erne gik de tre ofte under betegnelsen *de tre musketerer*.²⁰⁶

Den første plan for studier af Indlandsisen, som NSF og Grønlandsministeriet bevilgede penge til i slutningen af 1970, løb over en periode på tre sæsoner. I den første sæson – sommeren 1971 – skulle en stor del af indsatsen koncentreres omkring radarsonderinger i bl.a. Sydgrønland for at kortlægge de bedste boresteder.²⁰⁷ Derudover var der planlagt borerer ved radarstationen Dye 3 i Sydgrønland. Borererne skulle række op til 400 m ned i isen og én kerne var til isotopanalyse for at studere klimaændringer gennem de seneste århundreder, mens en tykkere kerne skulle anvendes til at teste ³²Si- og ¹⁴C-dateringsmetoderne. I somrene 1972 og 1973 var der planer om en dybdeboring i Sydgrønland.

Allerede i projektets første sæson havde det stor offentlig bevågenhed. På den første sommerekspedition deltog et tv-hold, der skulle dokumentere iskerneboringerne. Optagelserne skulle indgå som en del af BBC-produktionen ”Planet Earth”.²⁰⁸ Som det er blevet nævnt tidligere, var der også fra politisk side i Danmark stor interesse omkring iskernestudiernes resultater. Samtidig med, at de nye borerer i 1971 blev påbegyndt, forelå de detaljerede analyser af Camp Century-kernen. Som tidligere omtalt havde Dansgaard foretaget en frekvensanalyse af klimaændringerne og derigennem påvist periodiske variationer, som kunne danne grundlag for forudsigelser af klimaet. Muligheden for at kunne forudsige klimaets udvikling i Grønland blev fulgt meget nøje fra politisk side, da klimaændringer som tidligere nævnt kunne få fatale konsekvenser for den grønlandske fiskeindustri. I et brev til Chester Langway omtalte Dansgaard den *Nature*-artikel, hvori resultaterne blev publiceret: ”This is the paper that has upset the Ministry of Greenland – and for good reasons: The Danish government spends a considerable part of its total

²⁰⁶ Dansgaard (2000), p. 216.

²⁰⁷ Brev fra Willi Dansgaard til Philip Smith II, 21. august 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²⁰⁸ Brev fra Willi Dansgaard til Landshøvdingen i Godthåb og de videnskabelige forbindelsesofficerer i Thule og Søndre Strømfjord angående planer for 1971-sæsonen, 17. april 1971 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

income in Greenland and relies upon the future fishery!?”²⁰⁹ Ved evalueringen af 1971-sæsonen var det således også mulighederne for en klimaprognose, der blev fremhævet af Willi Dansgaard, som et af argumenterne for fortsatte iskernestudier i Grønland.²¹⁰

Boringen ved Dye 3 i sommeren 1971 nåede ned i 400 meters dybde, og da der falder meget sne i området ved Dye 3 – omkring 53 cm pr. år – var de årlige variationer i isotopsammensætningen tydelige, og 740 årlag kunne tælles i kernen. Ligesom det havde været tilfældet med alle tidligere udborede iskerner, var det gruppen i København, der foretog isotopanalyserne af denne kerne. Men udover, at den danske gruppe stod for en stor del af analysearbejdet, var det første gang, de tog aktivt del i selve boringen. Dermed fik de indsigt i, hvordan boreprocessen foregik, og i de barske forhold på Indlandsisen. Den tekniske del af boringen stod CRREL for. Til boringen blev anvendt et såkaldt termobor, der var udviklet af Lyle Hansen, som også havde stået for boringen i Camp Century og ved Byrd Station. Boret bestod nederst af en stålring, der opvarmes med en elektrisk strøm og derved smelter sig vej gennem isen. Et sådant bor kunne kun anvendes til at udbore kerner, der var nogle få hundrede meter lange. Hvis man borede længere ned, ville trykket blive så højt, at isen lukkede sig omkring boret.

Efter boringen ved Dye 3 i 1971 var alle enige om, at projektet skulle fortsætte og gerne med en dybdeboring i Sydgrønland. Der var dog et problem med denne plan, da det hidtil eneste dybdebore – et elektromekanisk bor, der også var udviklet af Lyle Hansen – var gået tabt under boringen ved Byrd Station. Da boret havde nået bunden af isen, var smeltevand trukket op omkring boret og havde frosset det fast. Det var derfor ikke muligt at starte på en dybdeboring i 1972, som det ellers havde været planen. De fremtidige muligheder og planer for studier af Indlandsisen skulle derfor revideres. I vinteren 1971/72 udarbejdedes på opfordring af Joseph Fletcher, der var blevet leder af NSF's Office of Polar Programs, et ”planning

²⁰⁹ Brev fra Willi Dansgaard til Chester Langway I, 20. februar 1970 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²¹⁰ Meeting at H.C. Ørsted Institute, Copenhagen, on continuation of the glaciological project at Dye 3 in South Greenland, 26. juni 1971 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

document”, hvori planerne for glaciologiske undersøgelser i Grønland frem til 1978 blev fremlagt. Dokumentet udgjorde samtidig formaliseringen af det dansk-amerikansk-schweiziske samarbejde, der blev døbt GISP, Greenland Ice Sheet Program.²¹¹ Ifølge denne plan skulle der som boreprojekter gennemføres shallow- og intermediateboringer i 1972 og 1973, der skulle lægge op til en dybdeboring i Nordgrønland i 1974. I de efterfølgende fire år var det endvidere hensigten, at der med shallowboringer skulle forberedes dybdeboringer i Central- og Sydgrønland i hhv. 1976 og 1978.

4.3 Økonomi og logistik

Den praktiske side af iskernestudierne, der havde at gøre med udboringen af kernerne fra Indlandsisen, havde amerikanerne stor erfaring med fra deres projekter i Thuleområdet. Hos CRREL's forgænger SIPRE havde man forsket meget i, hvordan fly kunne anvendes til godstransport ind på Indlandsisen, og man havde også gennemført forsøg med landinger på havis.²¹² Tidligere ekspeditioner som f.eks. EGIG havde benyttet sig af bæltetøjer, men der var kun få steder langs isranden, hvor køretøjerne kunne komme op, og denne form for transport var langsom. Udboringen af iskerner fra Indlandsisen var derfor afhængig af, at det nødvendige gods kunne flyves ind. Da det amerikanske militær var de eneste, der havde materiellet og ekspertisen til at løse denne opgave, blev de inddraget til at stå for den logistiske del af ekspeditionerne. Logistikken var rent økonomisk en stor post i forbindelse med ekspeditionerne til Indlandsisen, hvilket også fremgår af et overslagsregnskab for aktiviteterne i 1971.²¹³ Ud af de anslåede 450 tusinde dollars, som projekter relateret til aktiviteterne i 1971 havde kostet, var de 150 kommet fra US Air Force i form af logistisk støtte. Til godsflyvningerne på Indlandsisen anvendtes de store Herkulesfly (C-130'ere), som det amerikanske militær havde tilpasset flyvningerne i Grønland ved at udstyre dem med ski. I den tynde luft højt

²¹¹ GISP, A planning document, Februar 1972 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²¹² Wright (1986).

²¹³ GISP, A planning document, Februar 1972 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling), p. 11.

oppe på Indlandsisen, var det ofte et problem at få fart nok i de tunge fly til at de kunne lette fra den bløde sne. Derfor havde man endvidere forsynet dem med raketter, der kunne hjælpe med at få dem i luften.



Figur 20. C-130'er under start på Indlandsisen.

Selve opholdet på Indlandsisen i ned til 20-30 graders frost krævede særlig påklædning og særligt udstyr. Også på dette punkt kom det amerikanske militærs erfaringer forskerne til gode. Desuden blev flere af boreprojekterne gennemført ved den amerikanske radarstation, Dye 3. Allerede i 1971-sæsonen var Dye 3 udgangspunktet for den første dansk-amerikanske boring, der blev foretaget i bunden af en de seks søjler, som Dye stationen hviler på. Dye stationen var også stedet, hvor dybdeboringen, der var kulminationen på GISP blev gennemført fra 1979-1982. Det overvejende argument for, at boringen skulle foregå ved Dye 3, var ikke, at det videnskabeligt set var et fordelagtigt sted. Tværtimod var den underliggende klippegrund fyldt med høje fjelde, hvilket betød, at der var meget

turbulens i de nederste lag af isen, og at årlagene derved var forstyrrede. Grunden, til at man alligevel valgte at bore ved Dye 3, var, at det var langt billigere end at etablere en ny lejr på Indlandsisen. I modsætning til de lejre, der blev etableret ved korterevarende shallowboringer, skulle en lejr ved en dybdeboring kunne overleve fra år til år. Da der hvert år falder omkring en halv meter sne, vil en permanent lejr synke længere ned i sneen for hvert år, og det ville derfor være en stor praktisk udfordring og økonomisk byrde at vedligeholde en sådan lejr på Indlandsisen. Derudover kunne GISP-deltagerne under dybdeboringen ved Dye 3 benytte sig af de allerede eksisterende faciliteter, både hvad angik indkvartering og værkstedsmuligheder. Det amerikanske militære foretog desuden jævnlige fragtflyvninger til stationen, og dybdeboringen forårsagede derfor ikke et betydeligt øget behov for logistisk støtte.²¹⁴

Da GISP-samarbejdet blev etableret i 1972, var de metoder, der skulle anvendes til at studere iskerner veludviklede, og faciliteter til at foretage både isotopanalyser og kemiske analyser var etableret i Danmark, USA og Schweiz. Den videnskabelige metode, der lå til grund for de primære studier af grønlandske iskerner, var derfor veletableret. Den største udfordring ved nye iskernestudier var således den teknologiske og økonomiske byrde, der fulgte med gennemførelsen af iskerneboringer på den barske indlandsis. Udfordringerne afspejles i budgetterne for GISP-samarbejdet. I forbindelse med udarbejdelsen af et ”Planning Document” i 1972 opstilledes et budget for perioden 1972-1978, og da der i 1976 blev skrevet en ”Science Plan”, blev der lagt et nyt budget for perioden 1977-1981.²¹⁵ De to budgetter ses på figur 22 og 23.

²¹⁴ Dansgaard (2000), p 167ff.

²¹⁵ GISP, A planning document, Februar 1972 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling) og The GISP ad hoc Committee (1976).



Figur 21. Under boringen ved Dye 3 i 1979-1982 byggede man et borehus et stykke fra Dye-stationen. På billederne ses det, hvordan huset sank ned år for år. Billederne er fra årene 1979, 1980 og 1981.

Den uden sammenligning største post i budgettet fra 1972 var udgifterne til logistisk støtte, hvilket næsten udelukkende dækkede over flystøtte fra det amerikanske militær til at transportere mandskab og gods ind til de planlagte boresteder på Indlandsisen. Denne udgift var budgetteret til knap 3 mio. dollars over de syv projekterede sæsoner og udgjorde dermed 43 % af de totale udgifter. Selve boringen var sat til at koste 1,7 mio. dollars, hvilket svarede til 26 % af budgettet. Denne post dækkede ikke over hverken de videnskabelige analyser, der skulle foretages på Indlandsisen i umiddelbar forlængelse af udboringen af kernen, eller udviklingen af et dybdebor til erstatning af det, der gik tabt i Antarktis. Udgifterne til den videnskabelige analyse af iskernerne, som var det område, hvor det danske bidrag var størst, udgjorde med 1,37 mio. dollars kun 21 % af det samlede budget. De resterende udgifter dækkede over radarundersøgelser og enkelte andre glaciologiske studier.

GREENLAND ICE SHEET PROGRAM*								
(Cost in thousands of dollars)								
Project	FY 72	FY 73	FY 74	FY 75	FY 76	FY 77	FY 78	
Airborne radar-sounding	30	50	50	30	—	—	—	160
Geophysical investigations	45	100	80	85	—	—	—	310
Surface glaciological studies	20	50	50	50	20	10	—	200
Core drilling	50 200 } 250	600	250	150	150	150	150	1,700
Core studies								
Field		50	50	50	50	50	50	300
Laboratory	100	100	150	150	150	150	150	950
Bore-hole studies	—	20	20	20	20	20	20	120
TOTAL	445	970	650	525	390	380	370	3,740
Logistics	50	300	500	500	500	500	500	<u>2,850</u>
								<u>6,590</u>

*U. S. cost estimates based on an effective rate of 50K/man year.

Figur 22. Budget for GISP i perioden 1972-1978.

I budgetterne er der ingen udspecificering af, hvor stort det danske bidrag til GISP var. En sammenligning af de nationale bidrag er heller ikke umiddelbart mulig, da de amerikanske forskere måtte søge eksternt støtte til både de videnskabelige aktiviteter samt de daglige administrations- og lønudgifter, mens de danske forskeres løn og daglige administration var betalt af Universitetet. I 1974 blev Willi Dansgaard dog bedt om at udspecificere det danske bidrag til GISP, og herfra fremgår det, at Danmark alt i alt betalte godt 300.000 dollars til GISP-projekter i 1974.²¹⁶ I budgettet fra 1972 var de planlagte udgifter for 1974 på godt 1,1 mio. dollars, og hvis dette holdt stik, udgjorde det danske bidrag ca. en fjerdedel af de totale udgifter til GISP's aktiviteter. Man kan således konstatere, at NSF og det amerikanske militær afholdt størstedelen af de økonomiske udgifter. Samtidig var det de teknologiske og logistiske dele af GISP's operationer, der udgjorde langt de største udgifter.

Dette var også til dels tilfældet med det budget, der blev lagt i 1976, selvom man bemærker nogle interessante ændringer. Andelen af udgifter til logistik var faldet betydeligt til nu kun at udgøre 22 % af det samlede budget. Faldet skyldes både, at de samlede udgifter var steget, og at de forventede udgifter til logistik var lavere end i 1972. Hvor GISP-medlemmerne i 1972 havde forventet udgifter på 6,59 mio. dollars over syv sæsoner, var de budgetterede udgifter for de fem sæsoner fra 1977-1981 på 7,4 mio. dollars. Denne stigning er ikke nødvendigvis et udtryk for, at nye udgifter var kommet til, da der var en kraftig inflation i perioden mellem de to budgetter. Sikkert er det dog, at den relative andel af de logistiske udgifter var faldet betydeligt. Til gengæld var der i det nye budget to store poster, der slet ikke var at finde i det tidligere budget. Posterne dækkede over design og fremstilling af et nyt dybdebor og udgjorde tilsammen en udgift på godt 1 mio. dollars svarende til 15 % af budgettet. Som det vil blive omtalt senere, var der allerede i 1976 et nyt dybdebor

²¹⁶ Jay Zwally: Note om det danske bidrag til GISP, 21. januar 1974 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling). Kun omkring de 50.000 \$ af dette beløb stammede fra eksterne midler.

under udvikling hos CRREL, og det var den videre udvikling og tilretning af dette bor, som man forventede ville løbe op i 1 mio. dollars.

Der var andre små ændringer i budgettet fra 1976 i forhold til 1972, men noget af det, der især er interessant at bemærke, er endnu en post i 1976-budgettet, der ikke fandtes i 1972. Posten dækkede over udgifter til mad og brændstof, og det var forventet, at den ville ligge mellem 50.000-100.000 dollar pr. år. Selvom udgiften kun udgjorde knap 5 % af det samlede budget, understreger beløbets størrelse omfanget af de praktiske aspekter i forbindelse med de mange ekspeditioner til Indlandsisen.

(x \$1,000)

	<u>1977</u>	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>Total</u>	
Administrative	100	105	110	115	100	530	
Drill Design	150	150	50	50	0	400	
Drill Procurement	525	50	50	50	0	675	
Drill Operation	40	200	275	275	0	790	
Science	240	500	600	600	600	2,540	
Air Support							
Radio-echo Sounding	50	150	150	150	0		
C-141	25	50	100	25	25		
LC-130 Transport	125	150	590	185	85		
Twin Otter	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>60</u>	<u>40</u>	<u>40</u>		
Subtotal	250	400	900	400	150	2,100	
Other Costs (Food, Fuel, etc.)	50	75	100	75	50	350	
Total	1,355	1,480	2,085	1,565	900	7,385	Grand Total

Rounded \$7.4 M

Figur 23. Budget for GISP i perioden 1977-1981.

Når man ser nærmere på finansieringen af iskerneforskningen op gennem 1970'erne, kan det undre, at danske forskere fik lov til at deltage i så udbytterigt et projekt med så relativt lille et økonomisk bidrag. De isotopanalyser, der blev foretaget i København, var uden sammenligning det GISP-projekt, der fik størst

opmærksomhed, og man kan derfor mene, at de danske forskere fik et meget stort udbytte mod en relativt lille investering. Der var således nogle amerikanere, der mente, at "the Danes may be getting something of a free ride in Greenland at DPP's [NSF's Division of Polar Programs] expense".²¹⁷ De danske forskeres deltagelse i GISP skyldtes dog langt fra amerikansk velgørenhed. Først og er det en kendsgerning, at idéen om at foretage klimatiske studier af iskerner første gang var blevet fremsat af Willi Dansgaard. Og når det samarbejde, der var blevet etableret mellem Chester Langway og Dansgaard i slutningen af 1960'erne, blev fortsat, skyldtes det bl.a., at ingen amerikanske forskere var interesserede i iskernestudier. Den danske gruppes deltagelse i GISP var derfor naturlig ud fra det synspunkt, at de var de eneste, der havde den nødvendige ekspertise og kapacitet til at foretage de titusindvis af analyser, der fulgte med et længerevarende iskerneprogram. At den danske gruppes bidrag til GISP i højere grad var videnskabelig ekspertise end økonomiske bidrag fremgår af et senere brev fra en Science Advisor for NSF til Edward Todd, der på dette tidspunkt var leder af NSF's Division of Polar Programs: "...the U.S. science program is probably getting far more payoff in terms of science because Willi's group is involved than it could ever get without Willi's group. In my view, we are getting a real bargain through the working arrangement that has flowered between Chet [Chester Langway], Willi, and Hans [Oeschger]".²¹⁸

Derudover skal man ikke undervurdere betydningen af, at den is, der blev boret i, var dansk, og at amerikanerne af hensyn til deres andre aktiviteter i Grønland var interesserede i at bevare et godt forhold til de danske myndigheder. Dette fremgår bl.a. af en intern amerikansk korrespondance omkring det amerikanske luftvåbens luftstøtte til GISP i sommeren 1973. Som nævnt benyttede man sig ved større operationer på Indlandsisen af C-130'ere med påsatte ski. National Science Foundation havde rådet over tre C-130'ere, men den ene var gået tabt i Antarktis,

²¹⁷ Brev fra J. Mitchell til Edward P. Todd, 30. juli 1981 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling, NSF).

²¹⁸ Ibid.

og de to andre skulle gennemgå omfattende eftersyn i 1973.²¹⁹ NSF havde derfor ikke mulighed for at yde den nødvendige flystøtte, og man havde i stedet anmodet Alaskan Air Command, AAC, om den fornødne støtte. Udsigten til at skulle transportere deltagerne i GISP ud til borestederne på Indlandsisen lader ikke til at have passet AAC, der svarede på henvendelsen med et brev, hvor de stillede flere betingelser for deres støtte til GISP.²²⁰ AAC havde også tidligere mistet en C-130 under en landing på den grønlandske indlandsis, og de nægtede derfor at foretage såkaldte ”open snow” landinger og foreslog i stedet, at GISP henlagde deres aktiviteter til radarstationerne Dye 2 og Dye 3. Desuden foretrak de, at GISP lagde sine aktiviteter uden for perioden april-maj, da AAC havde mange fragtflyvninger i disse måneder. Derudover påpegede AAC, at de ikke kunne tilkendegive flystøtte uden en ordre fra luftvåbnets Chief of Staff.

Da CRREL modtog dette brev, tog de kontakt til luftvåbnets Chief of Staff, General John Ryan. Brevet til General Ryan udstråler, at CRREL’s leder J. Castro var forarget over AAC’s manglende fornemmelse for vigtigheden af at støtte et projekt med dansk deltagelse, da dansk goodwill var grundlaget for mange af de amerikanske militære operationer i Grønland. I brevet opridses Castro baggrunden for GISP’s aktiviteter i Grønland, og bl.a. nævner han det møde, der blev afholdt i København i 1971, hvor det dansk-amerikanske samarbejde blev påbegyndt. Denne information kan synes irrelevant, og Castro bruger seks linier på at opremse navne på deltagere i dette møde – først og fremmest nævnes højtstående militærfolk. Dette var sandsynligvis for at illustrere, hvor mange der var blevet trådt over tæerne ved AAC’s – i Castros øjne - uforskammede svar. Dernæst understreger Castro i en konstaterende tone vigtigheden af at bevare et godt forhold til de danske myndigheder, og risikoen ved en holdning som AAC’s: ”The Government of Denmark has committed a sizeable sum of money and considerable scientific talent to GISP on the understanding that the National Science Foundation and the U.S.

²¹⁹ Brev fra Joseph Fletcher til General John Ryan, 30. marts 1973 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

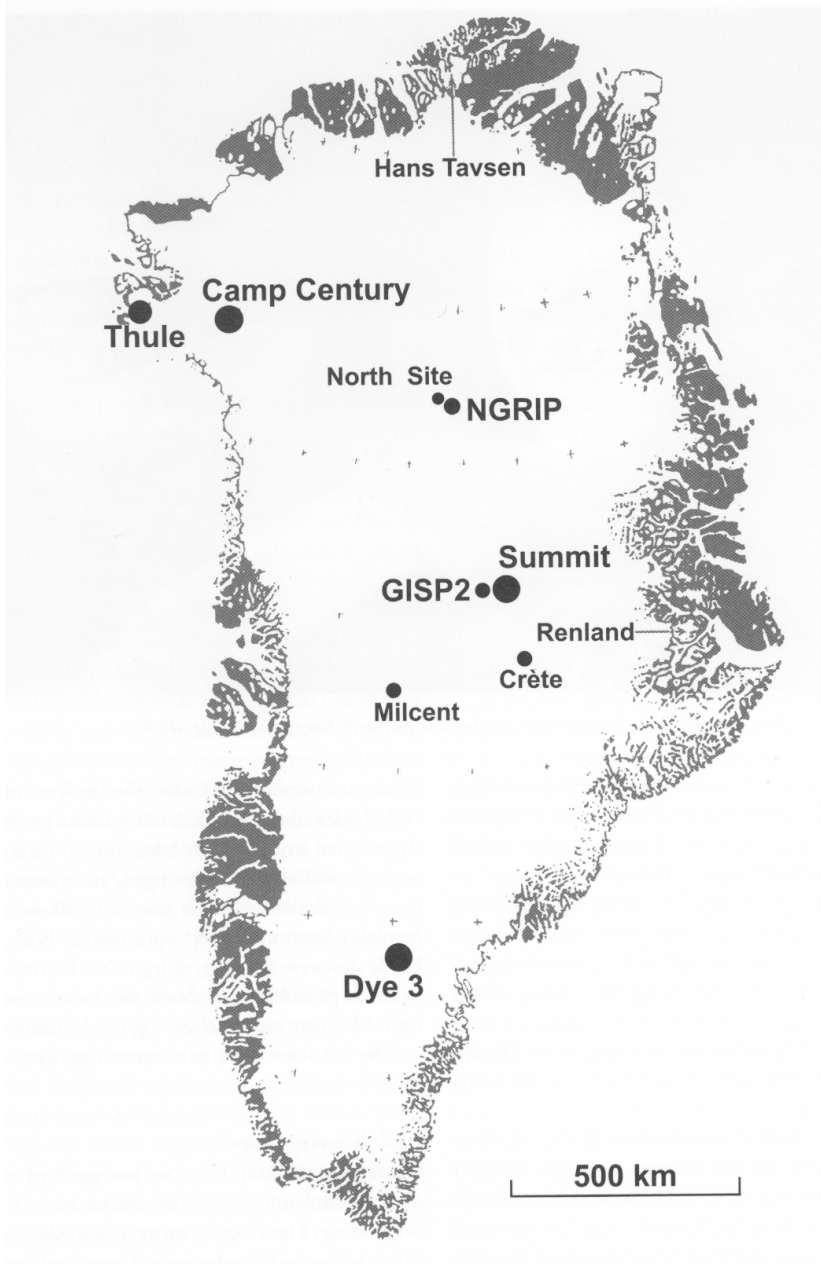
²²⁰ Brev fra AAC til CRREL, 12. marts 1973 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

Air Force would provide the necessary support services...Failure to obtain core this year will be a severe disappointment to our Danish colleagues and *their supporters in the Government of Denmark*" (min fremhævelse).²²¹ Især den sidste formulering er vigtig, da der her ligger mellem linierne, at hvis manglende amerikansk støtte skulle resultere i en sådan skuffelse for den danske regering, kunne det få konsekvenser for Danmarks fremtidige tolerance af amerikanske militære aktiviteter i Grønland. Hvis General Ryan ikke skulle have forstået Castros budskab her, sørgede Castro for at gøre det ekstra klart ved at tilføje: "Earlier this year the USAF sought clearance from Denmark for flight operations over Greenland in support of three research projects of interest to the USAF". Budskabet burde herefter ikke være til at misforstå, og CRREL modtog da også et brev fra General Ryan, hvor han udtrykte sin værdsættelse af GISP's videnskabelige arbejde og lovede, at GISP ville modtage den nødvendige flystøtte.²²² Denne lille disput illustrerer, hvor stor betydning det havde for det amerikanske militær, at bevare et godt forhold til de danske myndigheder, så de kunne udføre deres militæroperationer i Grønland.²²³ De danske iskerneforskere nød godt af denne afhængighed, og det er svært at forestille sig, at forskere med en anden nationalitet, ville have fået en lige så fordelagtig behandling. Når man ser på de deltagende nationers bidrag til GISP er det derfor vigtigt ikke kun at tage de økonomiske bidrag i betragtning. Danmark stillede med en unik videnskabelig ekspertise, og i kraft af Danmarks suverænitet i Grønland var projektet fuldstændig afhængig af de danske myndigheders gode vilje.

²²¹ Brev fra J. Castro til Office of Chief of Staff, United States Air Force, 27. marts 1973 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²²² Brev fra John Ryan til Joseph Fletcher, NSF, 16. april 1973 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²²³ Mange af de operationer, som det amerikanske luftvåben foretog i Grønland, var forbundet med træning af piloterne. Det var langt billigere at flyve i Grønland end i Antarktis, og amerikanerne var derfor afhængige af at kunne træne piloter, der senere skulle sendes til Antarktis, i Grønland.



Figur 24. Kort over Grønland med angivelse af bl.a. de steder, hvor GISP gennemførte boreringer op gennem 1970'erne.

4.4 Teknologi

Da det dansk-amerikansk-schweiziske samarbejde blev påbegyndt i 1971, havde det amerikanske CRREL to årtiers erfaringer med glaciologiske studier i Grønland, og megen teknologi var blevet udviklet i denne periode. Allerede omkring 1950 havde CRREL's forgænger SIPRE udviklet et håndbor, der kunne anvendes til at udbore firn-kerner ned til 15-25 meters dybde.²²⁴ Endvidere var der som tidligere omtalt udviklet et termobor, der kunne bore ned til 400 meters dybde. Disse to bor var udgangspunktet for GISP's iskernestudier i starten af 1970'erne. Selvom der var planer om at gennemføre en dybdeboring allerede i 1972 eller 1973 var man ikke i besiddelse af et dybdebor, da det hidtil eneste var gået tabt under CRREL's boring ved Byrd Station i Antarktis. Udviklingen af et nyt dybdebor var dog ikke det første problem, der skulle løses, da udboringen af en række kortere kerner var nødvendigt, før det kunne besluttes, hvor en dybdeboring skulle finde sted. Til udboring af kerner på nogle få hundrede meter havde man hidtil brugt termoboret, der havde den ulempe, at den smeltede is/sne i de øverste 100 meter trak ned gennem firnen, der ned til 100 meters dybde ikke er presset sammen til fast is. Derfor var det højt prioriteret, at der blev udviklet et nyt shallowbor: "There is a requirement, therefore, for a fast, lightweight, power-operated, mechanical coring auger to obtain undisturbed firn cores from the surface down to the depth 50-100 meters, where the firn becomes impermeable ice".²²⁵ Som det fremgår af citatet, var det vigtigt, at et nyt shallowbor var både hurtigt og let, da det skulle transporteres ud til mange, kortvarige borer i forskellige områder af Indlandsisen.

4.4.1 Et nyt shallowbor

Hos CRREL var det fortsat Lyle Hansen, der stod for fremstillingen af nye bor, og i 1973 arbejdede han på at udvikle et såkaldt *wirelinebor*. Boret skulle designes til udboring af kerner ned til 1000 meters dybde og ville derfor nærmere være en

²²⁴ Wright (1986).

²²⁵ C. Langway, B. Lyle Hansen, K.F. Sterret og J.F. Castro: A GISP proposal for ice core drilling, ice core analysis and geophysical investigations, 1. marts 1972 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

afløser for termoboret end et decideret shallowbor, der skulle være målrettet mod fremskaffelsen af 100-meter kerner. Wirelineborets design var baseret på de bor, der anvendes i olieboringer, og det havde den fordel, at kernerne kunne hentes op, uden man behøvede at hæve hele boret. Samtidig arbejdede både Lyle Hansens assistent John Rand og de schweiziske medlemmer af GISP på udviklingen af hver deres shallowbor. Udviklingen af nye bor var afgørende for den videre succes for GISP-projektet, og Jay Zwally fra NSF skrev i efteråret 1973 til Willi Dansgaard, at "the new wireline corer will revolutionize intermediate drilling. When this capability and the new shallow drill are finally proven, we will be in a much better position to collect cores".²²⁶ Om Zwally i sin udtalelse havde det amerikanske eller det schweiziske shallowbor i tankerne er uvist, men sikkert er det, at revolutionen med de nye bor ikke kom så hurtigt, som man kunne have håbet.

Sommeren 1974 var begge shallowbor klar til den første test på Indlandsisen. Ifølge Sigfus Johnsen var denne sæson et vendepunkt i udviklingen af boreteknologi.²²⁷ Borene var begge elektromekaniske, og i modsætning til termoboret, der smeltede sig vej gennem isen, havde de elektromekaniske bor skær og *borede* sig derfor ned i isen. Set i forhold til termoboret var ulempen med denne type bor, at der blev produceret spåner af is, som skulle fjernes fra borehovedet. I begge bor blev dette problem løst ved at forsyne boret med både en indre og ydre cylinder med en spiral i mellem, så spånerne kunne føres op som i en arkimedesspiral. Johnsen deltog i testen af det schweiziske bor, der blev foretaget på Indlandsisens højeste sted, Summit, og senere i testen af det amerikanske bor, der foregik ved Crête på Indlandsisens højderyg.

Under testen gik den schweiziske prototype i stykker, bl.a. fordi koblingen mellem motor og gear kørte skævt og derfor brød sammen. Senere på sæsonen blev boret testet ved Crête, hvor man samme sommer gennemførte en 400-meter boring med det gamle termobor. Også i denne test havde det schweiziske bor en del

²²⁶ Brev fra J. Zwally til Willi Dansgaard bl.a. ang. udviklingen af nye bor, 19. oktober 1973 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

²²⁷ Det følgende bygger i stor udstrækning på Interview med Sigfus Johnsen.

børnesygdomme, der skulle afhjælpes, hvis det skulle fungere som det effektive shallowbor, der var behov for. En af de praktiske ulemper ved boret var desuden, at det ikke havde noget spil, og derfor skulle det tykke kabel, boret hang i, trækkes ud på isen af borefolkene, hver gang boret skulle trækkes op. Ved Crête testede også John Rand sit shallowbor, der var baseret på samme design som et bor, der havde været anvendt på Månen til at bore i klippe. Selve borehovedet viste sig at være ganske effektivt, men boret var designet til at køre så hurtigt, at det ikke kunne nå at fjerne de spåner, der blev produceret under boringen. Sigfus Johnsen har fortalt, at han nøje studerede problemerne med både det schweiziske og det amerikanske bor og diskuterede både problemer og mulige forbedringer med blandt andre mekanikeren Heinrich Rufli, der havde stået for udviklingen af det schweiziske bor. Med erfaringerne fra de to bor mente Johnsen, at den danske gruppe selv ville være i stand til at fremstille et effektivt shallowbor.

Det kan måske undre, at den danske gruppe skulle være interesseret i at fremstille deres eget shallowbor – noget de ikke havde erfaringer med – men ifølge Johnsen var det vigtigt, at danskerne var i stand til at indsamle deres egne kerner. Det gav en større frihed til at vælge, hvor der skulle bores, når man kunne anvende sit eget bor. Efter sæsonen i 1974 modtog gruppen i København midler fra Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland til at påbegynde konstruktionen af et dansk shallowbor. Resultatet af bestræbelserne blev et nyt elektromekanisk bor, der havde de samme kvaliteter som det schweiziske og det amerikanske, mens mange af problemerne med de tidligere bor var blevet afhjulpet. Bl.a. havde det danske bor tre skær frem for to, som det schweiziske havde haft, hvilket gav det danske bor en større stabilitet. Det danske bor var endvidere forsynet med et elektrisk spil, som gjorde det meget nemmere at hejse og sænke. Boret med det nødvendige tilbehør vejede kun 300 kg, og det var derfor nemt at transportere med mindre fly ud på Indlandsisen. En anden nyskabelse ved det danske bor var en vippeanordning, så boret med stativ kunne drejes til vandret

stilling, når boret var oppe. Dette lettede både udtagningen af den borede kerne og den løbende vedligeholdelse af boret.²²⁸



Figur 25. Sigfus Johnsen og Steffen Hansen tester det danske shallowbor.

Boret blev første gang testet i sommeren 1976 på Hans Tausen iskappen i det nordlige Grønland. Her satte boret sig fast i 50 meters dybde, fordi den ydre cylinder slog sig, og selv en lille skævhed var tilstrækkeligt til, at boret ikke kunne trækkes op. Borets design lod dog til at være effektivt nok, og den følgende vinter byggede man derfor et nyt bor, hvor man anvendte et rør, der var absolut lige fra fabrikken. Det nye bor foretog sin første 100-meter boring ved Camp Century i 1977, og i samme sæson nåede man at udbore sammenlagt 800 meter. Helt op til i

²²⁸ Dansgaard (2000), p. 184ff.

dag har det danske shallowbor været et af de mest produktive, og der har kun været foretaget ganske få modifikationer.²²⁹

Man kan spørge sig selv, hvordan en dansk gruppe fysikere, kemikere og ingeniører, der kun havde få års erfaringer med den praktiske side af iskerneboringer og ikke tidligere havde været involveret i udviklingen af iskernebor, kunne fremstille et af de mest effektive shallowbor nogensinde. En del af svaret på dette skal findes i den unikke sammensætning af den danske gruppe.²³⁰ Strategien med at ansætte folk, hvis specialer snarere supplerede end overlappede hinanden, gav en yderst alsidig gruppe med ekspertise inden for mange områder. I forbindelse med udviklingen af det danske shallowbor var der især et gunstigt samarbejde mellem fysikeren Sigfus Johnsen, der havde en god fornemmelse for den mekaniske opbygning af boret, elektroingeniøren Niels Gundestrup, der stod for den elektroniske del af konstruktionen og mekanikeren Steffen Hansen. Derudover havde det stor betydning, at de danskere, der deltog i udviklingen af boret, selv skulle bruge det i felten. De havde derfor en god forståelse for ulemper og fordele ved den praktiske anvendelse. Det resulterende bor var således både let, nemt at bruge og kunne hurtigt klargøres til brug.²³¹ Boret var så effektivt, at to personer kunne udbore en 100-meter kerne på under 24 timer.

4.4.2 Et nyt dybdebor

I 1976, hvor det danske shallowbor blev testet første gang, blev også det amerikanske wirelinebor testet for første gang i Grønland. Boret var som sagt designet til at bore ned til 1000 meters dybde, og det var hensigten, at det efter en hurtig test i Grønland skulle fragtes til Antarktis, hvor det skulle bruges i forbindelse med de amerikanske forskningsprojekter i sommeren 1976-77. Demonstrationen af det nye bor var forbundet med stor prestige for NSF, der havde finansieret udviklingen af boret, og derfor havde de inviteret et stort

²²⁹ Ibid.

²³⁰ Interview med Sigfus Johnsen og Samtale med Willi Dansgaard.

²³¹ Gundestrup *et al.* (1988).

pressekorps – endda med deltagelse fra tv-stationer – til at overvære boringen i Antarktis.²³² Der var således et stort pres på Lyle Hansen, da han i sommeren 1976 testede boret ved Dye 2 i Grønland. På grund af de planlagte aktiviteter i Antarktis var der også et stort tidspres, og Hansen nåede ikke at bore mere end knap 100 meter ned, før boringen måtte afsluttes, så boret kunne nå til Antarktis. Det betød samtidig, at boret ikke nåede ned i rigtig is – det blev kun testet i den noget blødere firn.

Den mangelfulde test af wirelineboret resulterede i en ”ren katastrofe” i Antarktis, som Sigfus Johnsen har omtalt det.²³³ Boret fungerede ikke, da det først nåede ned i den faste is, og det repræsenterede derfor på ingen måde den revolution inden for boreteknologi, som Zwally i 1973 havde håbet på. Den store medieopmærksomhed omkring projektet gjorde hele miseren endnu mere pinlig for NSF, der havde investeret flere millioner dollars i udviklingen af boret. Fiaskoen belastede forholdet mellem Lyle Hansen og NSF så meget, at et fortsat samarbejde ikke var muligt. Planerne for GISP’s aktiviteter havde været lagt med henblik på, at en videreudvikling af wirelineboret kunne anvendes under en dybdeboring i Grønland. I GISP’s Science Plan fra 1976 stod: ”Present plans call for the completion of the tests on the conceptual design of the RISP [Ross Ice Shelf Project: det amerikanske forskningsprojekt i Antarktis] drill in Antarctica during the 1976-1977 austral summer. If the utilization in Antarctica is successful the basic design assumptions will have been verified and can be applied to the development of a similar system for deep core drilling in Greenland in 1979”.²³⁴ Med opgivelsen af wirelineboret var GISP sat langt tilbage, og NSF var ikke interesseret i at finansiere udviklingen af endnu et bor efter den pinlige episode i Antarktis. Under et GISP-møde i London i september 1977 gjorde Duwaine Anderson, der var Chief Scientist i NSF’s Division of Polar Programs, det klart over for de andre medlemmer af GISP, at NSF ikke var interesseret i at finansiere udviklingen af et

²³² Samtale med Willi Dansgaard.

²³³ Interview med Sigfus Johnsen.

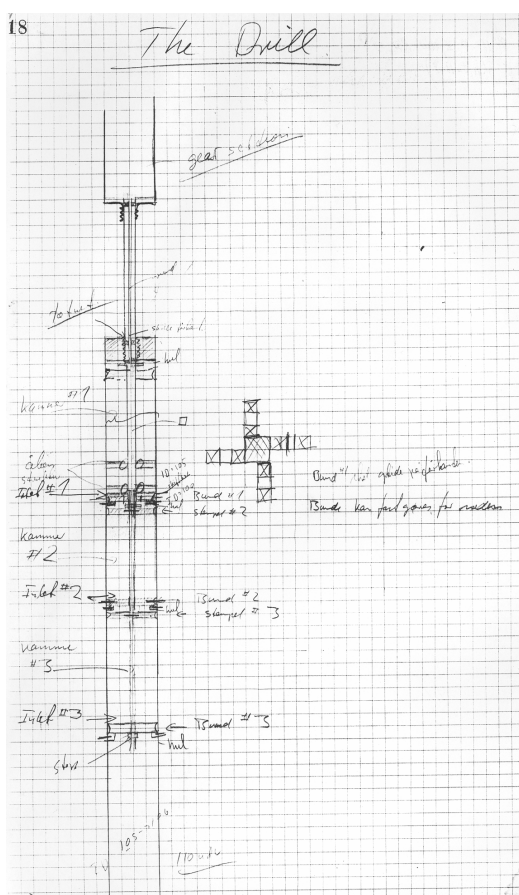
²³⁴ The GISP ad hoc Committee (1976), p. 5.

nyt dybdebor. Hvis GISP skulle resultere i en dybdeboring, som det hele tiden havde været målet, måtte andre derfor stå for udviklingen af et nyt bor. Ifølge Claus Uffe Hammer – et af medlemmerne af Københavnergruppen – var det dermed op til danskerne at udvikle et bor, hvis det ønskede mål med GISP skulle nås.²³⁵ Danskerne fik natten over til at overveje deres stilling. Hvis de afslog at stå for udviklingen af et dybdebor, ville det på kortere eller længere sigt betyde enden på GISP, da det især var udsigten til en ny dybdeboring, der havde været baggrunden for de store bevillinger til projektet. Efter succesen med udviklingen af et shallowbor valgte danskerne derfor at stå for udviklingen af et dybdebor. Kommissionen for Videnskabelige Undersøgelser i Grønland bevilgede 1 million kroner til projektet, hvilket skal ses i forhold til den ene million *dollars*, der på GISP's budget fra 1976 var afsat til videreudviklingen og konstruktionen af et wirelinebor til dybdeboring.

I 1978 gik man således i gang med udviklingen af et dansk dybdebor bygget efter samme grundlæggende design som shallowboret. Igen var det et produktivt samarbejde mellem Sigfus Johnsen, Niels Gundestrup, Steffen Hansen og den nytilkomne ingeniør Niels Reeh der førte til designet af boret. Delene til boret blev dels fremstillet på H.C. Ørsted Instituttets værksted og dels hos eksterne leverandører. Selve borehovedet blev fremstillet i Schweiz af deltagerne i GISP. Boret, der blev kaldt ISTUK af det danske ”is” og det grønlandske ord for bor, ”tuk”, var som sagt et elektromekanisk bor ligesom det danske shallowbor, men flere nye finesser blev desuden tilføjet. I tidligere dybdebor – både boret, der blev brugt ved Camp Century og wirelineboret – havde man sendt strømmen til boret ned gennem kablet, som boret hang i. Denne konstruktion krævede, at kablet havde en relativt stor diameter, og da kablet til et dybdebor skulle være flere kilometer langt, repræsenterede kablet en enorm vægt. Hvis kablets vægt kunne reduceres ville det både være nemmere at håndtere og langt billigere at transportere ind på isen. Niels Gundestrup fandt derfor på, at man forsynede boret med batterier, der kunne

²³⁵ Interview med Claus Uffe Hammer.

lades op, mens boret blev hævet og sænket. Efterhånden som boringen trænger ned gennem isen udgør det tidsrum, hvor boret hæves og sænkes, langt størstedelen af en kørsel, og ved at sætte batterier på boret kunne man sende en jævn strøm gennem kablet frem for kun at sende strøm, når der blev boret.²³⁶ Derved kunne strømstyrken mindskes betydeligt og kablets diameter reduceres til en tiendedel.²³⁷ Den samlede vægt af bor og kabel kunne herved holdes nede på godt et ton, mens de amerikanske bor havde vejret op mod 70 tons.



Figur 26. Sigfus Johnsen's første skitse af ISTUK fra slutningen af 1977.

²³⁶ En kørsel udgøres af nedsænkningen af boret, udboringen af en kerne på op til 2,75 m og hævnningen af boret til overfladen. I gennemsnit tager en kørsel én time, mens selve udboringen af en kerne kun varer seks minutter.

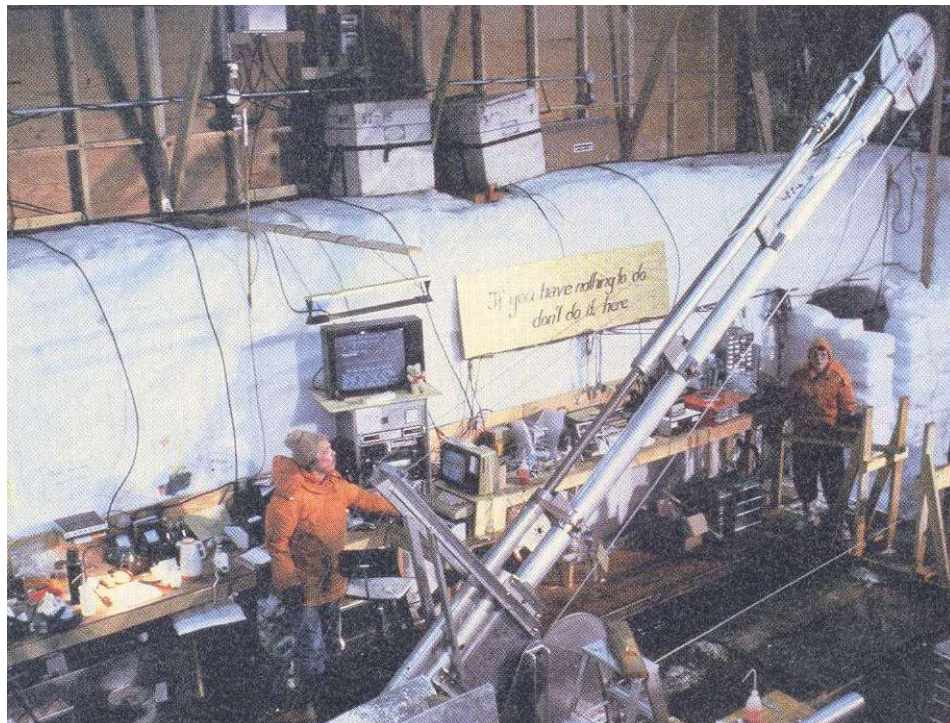
²³⁷ Gundestrup *et al.* (1984)

Selvom ISTUK var betydeligt større end det danske shallowbor, overførte man også vippeanordningen. Det betød bl.a. at borestativet kun skulle være seks meter højt – halvdelen af borets totale længde – og dermed kunne de største dele af boret holdes nede på dimensioner, der gjorde, at de kunne være i et Herkulesfly. En betydelig forskel på ISTUK og shallowboret var, at ISTUK skulle bore ned i den dybere is, hvor trykket er langt højere. Ved højt tryk er isen sejtflydende, og hullet vil derfor lukkes hurtigt, efter at boret er trukket op. Samme problem havde man stået overfor ved tidligere dybdeboringer, og det blev løst ved at fylde boret med en væske med samme massefylde som isen. Væsken ville dermed udligne isens tryk og holde hullet intakt. Som borevæske brugte man bl.a. jetbrændstof blandet med tetraklorætylen, så væsken fik den rette massefylde.

ISTUK blev designet og konstrueret i løbet af 1978 og allerede i sommeren 1979 var det klar til at påbegynde dybdeboringen ved Dye 3. Selvom Dye 3 ikke videnskabeligt set var det optimale borested, havde NSF dikteret, at det var en dybdeboring på Dye 3 eller ingen dybdeboring.²³⁸ Denne betingelse skyldes uden tvivl, at NSF ikke ønskede at investere i en langt dyrere boring midt på Indlandsisen med risiko for en gentagelse af fadæsen i Antarktis. Som tidligere nævnt var der ud over de logistiske fordele ved at bore ved Dye 3 også værksteder med mulighed for reparation og modifikation af boret, der trods alt ikke havde været gennemtestet. Den første sæson var der behov enkelte tilrettelser, men ikke flere end man kunne forvente med et nyt bor, og ved sæsonens afslutning var man nået ned i 225 meters dybde. Den følgende sommer gik det hurtigere, og her nåede boret ned til 910 meters dybde. I sommeren 1981 lykkedes det med et stramt program og effektivt samarbejde at nå bunden af isen i en dybde af 2038 meter. Her sad boret dog fast, og først da man havde trukket femten meter af kablet ind og hældt ekstra borevæske i hullet, så der var et lille overtryk i hullet, forlod man borestedet. Da man et år senere vendte tilbage til Dye 3, hang boret femten meter over bunden og

²³⁸ Dansgaard (2000), p. 199.

kunne uden videre trækkes op. Derved undgik man at miste ISTUK, som det tidligere var sket med det amerikanske dybdebor.



Figur 27. ISTUK.

Historien om ISTUK understreger, at de danske forskere langt fra fik "a free ride" i GISP-samarbejdet. Udover det faktum, at projekterne foregik i Grønland, som er dansk suverænitetsområde, må man konstatere, at danskerne bidrog med både en unik videnskabelig ekspertise, og i tilfældet med ISTUK også med den teknologi, der var strengt nødvendig for den succesfulde gennemførelse af GISP. Man kan så undre sig over, at det var en dansk gruppe med relativt små midler, der i modsætning til amerikanerne, der havde langt flere midler, kunne fremstille et funktionelt dybdebor.

De amerikanske midler til konstruktionen af et dybdebor havde været rigelige, både da Camp Century-boret blev bygget i 1960'erne, og da et nyt bor skulle bygges

i 1970'erne. Lyle Hansen, der stod for udviklingen af begge bor, var derfor sandsynligvis mere fokuseret på at bygge et kraftigt og funktionelt bor end et, der var lethåndterligt og smart. Dette fremgår bl.a. af Camp Century-borets specifikationer: det var 26 meter langt og vejede 70 tons. Den danske gruppe, der i modsætning til amerikanerne havde en begrænset bevilling på en million kroner til konstruktionen af et bor, var tvunget til at tænke i nye baner. Allerede i forbindelse med udviklingen af det danske shallowbor, havde de bevidst arbejdet på at bygge et bor, der var lettere og nemmere at håndtere, da de selv skulle betjene det, når kerner skulle hentes på Indlandsisen. Samme princip blev overført til ISTUK, der således blev langt lettere og mindre end Camp Century-boret. Som nævnt var den længste enkelt-del af ISTUK 8 meter lang og kunne dermed være i et Herkulesfly. Når boret var sat sammen var det 11 meter langt og vejede kun godt 1 ton. Frem for at konstruere et let og praktisk bor, er det min tese, at amerikanerne betragtede deres bors størrelse og vægt som et symbol på kvalitet og styrke. Dette underbygges bl.a. af nogle af CRREL's borefolks reaktion på ISTUK. I starten af 1980-sæsonen var der nogle problemer med ISTUK's borehoved, og da folkene fra CRREL besøgte boret, sparkede de til det og kaldte det hånligt for "toys".²³⁹ På trods af ISTUK's lidenhed blev Dye 3 boringen gennemført med succes, og man kunne da synes, at det danske design havde bevist sit værd og demonstreret, at et dybdebor ikke behøvede at koste flere millioner dollars. Selvom flere andre grupper verden over har kopieret dele af ISTUK-boret, har amerikanerne siden hen fortsat deres strategi med at bygge meget store og både fysisk og økonomisk tunge bor. I skildringer af det amerikanske bor, der blev brugt ved GISP2-boringen i slutningen af 1980'erne og starten af 1990'erne, fremhæves netop borets fysiske fremtoning: "...the entire drill string was nearly one hundred feet long, and hung from a hundred-foot spiderwork drill tower that dominated the GISP2 camp. The tower protruded seventy feet above a white geodesic dome".²⁴⁰ Den amerikanske insisteren på at

²³⁹ Ibid., p. 206.

²⁴⁰ Alley (2000), p. 28.

bygge store, tunge bor opfatter jeg som udtryk for en grundlæggende mentalitetsforskel på de danske og de amerikanske forskere og ingeniører, og samtidig mener jeg, at de to forskellige strategier er en del af forklaringen på, at det ikke lykkedes for amerikanerne at bygge deres eget dybdebor i 1970'erne. Resten af forklaringen kan i en vis udstrækning tilskrives tilfældigheder. Lyle Hansens wireline-design virkede på papiret lovende, men også for iskernebor gælder det, at deres værd først kommer frem, når de bliver testet i felten. De særlige omstændigheder omkring testen af wirelineboret og fiaskoen i Antarktis resulterede i, at hele projektet blev kastet over bord frem for, at man ud fra de nye erfaringer arbejdede videre med udviklingen af boret.

4.4.3 Andre instrumenter

Boreteknologien var ikke det eneste område, hvor den danske gruppe bidrog til den teknologiske udvikling, der var en del af GISP-projektet. Også inden for analysen af de udborede iskerner stod danskerne for flere nyskabelser. Blandt andet betød det store antal prøver, der skulle analyseres i forbindelse med GISP-projektet, at kapaciteten ved laboratoriet i København måtte udvides: ”Med godkendelsen af det store boreprojekt i Sydgrønland 1971-73, hvortil Grønlandsministeriet yder 850.000 og National Science Foundation, Washington, adskillige gange mere, er vi kommet i en ny situation med behov for yderligere en fordobling af målekapaciteten hvis alle de i borekernerne indeholdte klimatiske informationer skal fremdrages inden for et overskueligt tidsrum”.²⁴¹

Frem for at indkøbe et nyt massespektrometer til laboratoriet valgte man selv at automatisere et af de eksisterende spektrometre og derigennem forøge målekapaciteten. Carlsbergfondet bevilgede knap 300.000 kr. til projektet, og Sigfus Johnsen og Niels Gundestrup tog sig af hhv. den mekaniske og den elektroniske modificering af massespektrometret. Sigfus Johnsen designede et præparationssystem, der kunne tage op til 256 prøver, der var klargjort af

²⁴¹ Ansøgning til Carlsbergfondet om midler til nyt massespektrometer, 19. maj 1971 (Arkiv ved Geofysisk Afdeling).

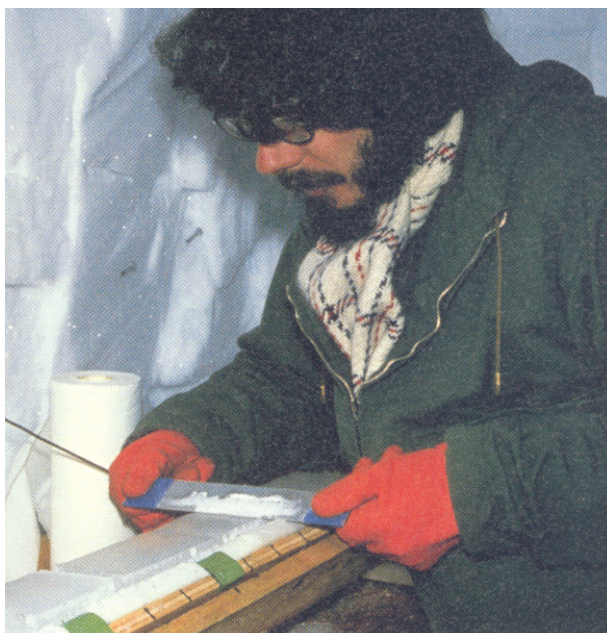
laboranten. Når prøverne skulle analyseres, blev instrumentet pumpet tør for luft, hvorefter CO₂ blev indført. I præparationssystemet blev vandprøverne rystet, og der blev skabt ligevægt i den isotopiske sammensætning af prøverne og den indførte CO₂. Derefter blev kuldioxiden ført gennem massespektrometret, hvor andelen af molekyler med den tunge ¹⁸O-isotop kunne måles. Denne teknik var den samme, som Dansgaard havde brugt i sine tidlige studier i starten af 1950'erne. I det nye massespektrometer kørte hele denne proces automatisk om natten, takket være det computerstyrede system, og når laboranten mødte om morgenen, lå nattens målinger printet ud.²⁴² Det effektive system betød, at det danske laboratorium kunne analysere flere prøver end alle andre laboratorier i verden tilsammen.

Isotopanalyserne var langt fra den eneste form for analyse, der blev foretaget på de mange iskerner. De schweiziske deltagere i GISP specialiserede sig i at studere den kemiske sammensætning af de små luftbobler i isen, der kan fortælle om ændringer i atmosfærens sammensætning tilbage i tiden, og forskerne ved CRREL beskæftigede sig i stor udstrækning med isens mekaniske egenskaber og kemiske sammensætning. Et andet område, som den danske gruppe specialiserede sig inden for, var studiet af støv og nedfald fra vulkanudbrud. Det var særligt fysikeren Claus Uffe Hammer, der var kommet til gruppen i starten af 1970'erne, der specialiserede sig i at måle støv i iskernerne, og især hvad angår påvisningen af lag med vulkansk nedfald, opfandt Hammer et effektivt instrument.²⁴³ Det viste sig, at vulkansk nedfald ikke kunne identificeres ved at undersøge kernernes støvindhold, men derimod var der i de vulkanske lag et højt indhold af svovlsyre som følge af den kraftige udledning af svovldioxid ved vulkanudbrud. De sure lag kunne påvises gennem direkte analyser af isens pH-værdi, men i en iskerne, der var op til flere kilometer lang, var denne metode ikke praktisk. Derfor udviklede Hammer i stedet et instrument, der bestod af to elektroder, som førtes langs en gennemskåret iskerne og derved målte kernens varierende ledningsevne. Lag med et højt indhold

²⁴² Interview med Sigfus Johnsen, og Dansgaard (2000), p. 183.

²⁴³ Hammer (1977).

af svovlsyre ville resultere i en høj ledningsevne. Instrumentet muliggjorde således en kontinuert analyse af vulkansk nedfald på isen, og samtidig var instrumentet så simpelt, at analysen kunne foretages på Indlandsisen umiddelbart efter udboringen af kernen.

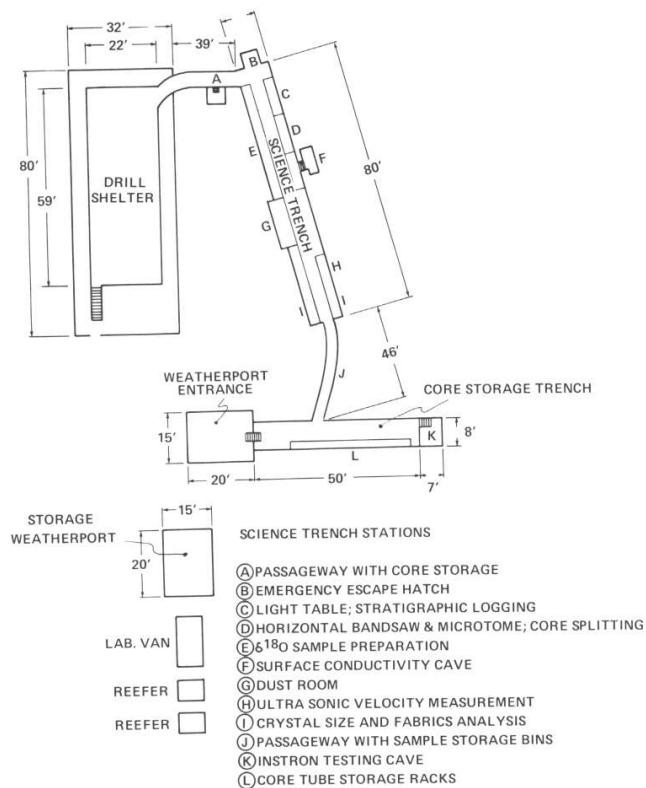


Figur 28. Claus Hammer gør en overskåret iskerne klar til måling af syreindhold.

Netop analyser af iskernen foretaget på Indlandsisen i forbindelse med boringen var endnu en af de teknologiske nyskabelser ved GISP-dybdeboringen. Under de tidligere dybdeboringer ved Camp Century og Byrd station havde man kun registreret kernerne og eventuelle synlige støvlag, mens alle andre analyser var blevet foretaget efter at kernerne var hentet hjem til laboratorierne.²⁴⁴ Ved Dye 3-boringen byggede man i forbindelse med borehuset en såkaldt "science trench", hvor en lang række analyser og udskæringer kunne foretages, inden kernerne blev pakket og gjort klar til transport ud til Danmark og USA. Der var mange fordele ved at foretage mange af analyserne i direkte forlængelse af udboringen af kernerne.

²⁴⁴ Langway (1967).

For det første var der på isen den rette temperatur til arbejde med iskernerne, hvorimod en senere analyse ville kræve, at alt arbejdet blev foretaget i et frysehus. For det andet var den nødvendige arbejdskraft til analysearbejdet i stor udstrækning til stede ved boringen. Isotopanalyserne kunne først foretages, når prøverne var sendt til København, men udskæringen af de enkelte prøver blev foretaget på Indlandsisen. De effektive analyser og klargøringen af prøver på Indlandsisen betød, at de første resultater af Dye 3-boringen kunne offentliggøres mindre end et år efter afslutningen af den sidste boresæson i 1981.²⁴⁵



Figur 29. Skitse over lejren ved Dye 3. Her ses borehuset, hvor ISTUK befandt sig. Nye iskerne blev ført ind i *Science Trench*, hvor en lang række analyser blev foretaget og prøver blev udskåret. Derudover var der et opbevaringsrum til iskernerne.

²⁴⁵ Langway *et al.* (1985), p. 3.

4.5 Resultater fra Dye 3

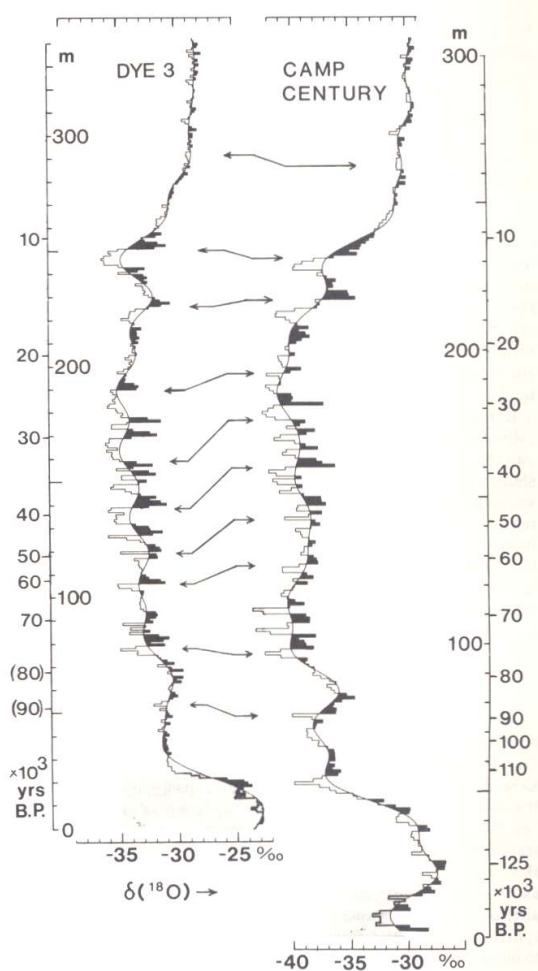
Boringen ved Dye 3 resulterede i en iskerne på 2038 meter, der i stor detalje blev analyseret for flere klimarelaterede parametre. Schweizerne kunne ved at analysere sammensætningen af de luftbobler, der var bevaret i isen, kortlægge variationerne i atmosfærens indhold af bl.a. kuldioxid og metan gennem de sidste ca. 90.000 år.²⁴⁶ De analyserede også isens indhold af den radioaktive isotop ^{10}Be , der dannes i atmosfæren af den kosmiske stråling. Den kosmiske stråling og dermed mængden af ^{10}Be er moduleret af Solens magnetiske aktivitet, og derfor afspejler variationerne i ^{10}Be -indholdet ændringer i solaktiviteten. Derudover analyserede den danske gruppe isens δ -variationer, der i stor udstrækning er et udtryk for temperaturvariationerne gennem den over 90.000 år lange periode, kernen repræsenterede.

Ingen andre klimaarkiver har hverken før eller siden givet mulighed for samtidig analyse af så mange klimarelevante parametre så langt tilbage i tiden og i så stor detalje. På grund af den relativt høje akkumulation ved Dye 3 var det muligt at absolutdatere kernen 10.000 år tilbage ved at tælle de årlige variationer i δ . Længere tilbage blev kernen dateret vha. flydemodeller. Selvom dateringen af de nederste ca. 300 meter af kernen, der indeholdt is fra hele sidste istid og afslutningen af forrige mellemistid, var forbundet med en del usikkerheder pga. risikoen for forstyrrelse af de nederste lag, gav den samtidige analyse af flere klimatologiske parametre mulighed for at undersøge sammenhænge i klimasystemet. F.eks. var det muligt at sammenholde ændringer i temperaturen med ændringer i atmosfærens kemiske sammensætning og variationer i solaktiviteten. Herved blev det bl.a. bekræftet, at den kolde periode omkring år 1700 – ofte betegnet ”den lille istid” – var sammenfaldende med en periode med meget lav solaktivitet.²⁴⁷ Længere tilbage i tiden – gennem sidste istid – kunne man observere pludselige svingninger i δ , der tilsyneladende var fulgt af samtidige variationer i indholdet af CO_2 i de små

²⁴⁶ Ibid., p. 9.

²⁴⁷ Ibid., p. 14.

luftbobler. Svingningerne var meget pludselige og voldsomme og tydede på, at



klimasystemet vekslede mellem to stabile tilstande.²⁴⁸ De bratte klimaskift svarede til ændringer i temperaturen på 10-12 °C inden for et århundrede eller måske endda inden for et årti. Ved sammenligning af kurverne fra Dye 3-kernen med isotopkurven fra Camp Century kunne man genfinde mange af de samme karakteristika.²⁴⁹

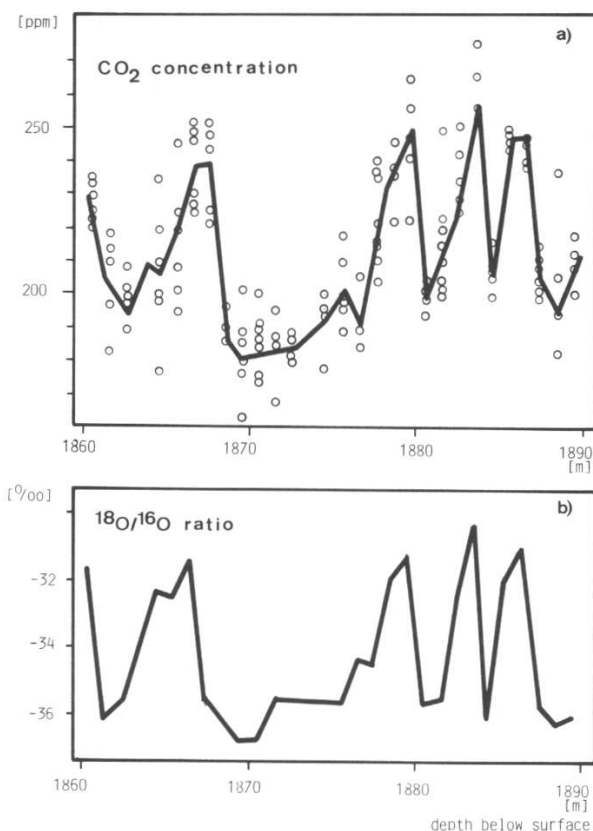
Figur 30. Sammenligning af isotopkurverne fra Dye 3 og Camp Century. Mange klimabegivenheder gennem hele sidste istid kunne genfindes i begge kerner.

Det betød, at de temperaturændringer, der var registreret i begge kerner ikke skyldtes lokale forhold, men nærmere afspejlede klimavariationer, der havde påvirket hele det nordatlantiske område. Netop Nordatlanten er et uhyre vigtigt område i forhold til det globale klima. Den globale havcirkulation er i stor

²⁴⁸ Ibid., p. 15. Det viste sig senere, at der ikke var en årsag-virkningssammenhæng mellem de tilsyneladende ændringer i atmosfærens kuldioxid, og den varierende temperatur. Claus Hammer viste, at ændringerne i CO₂ i luftboblerne skyldtes, at der i koldere perioder var ført større mængder kalkholdigt støv til Grønland fra de omliggende kontinenter.

²⁴⁹ Dansgaard *et al.* (1982).

udstrækning påvirket af forholdene i Nordatlanten, hvor den såkaldte ”dybhavspumpe” driver Golfstrømmen, der bl.a. er årsagen til det relativt milde klima i Nordeuropa. De bratte klimaskift blev som sagt påvist både af den danske og den schweiziske gruppe i analyserne af hhv. δ -værdierne og CO_2 -indholdet ned gennem iskernen, og de har derfor fået betegnelsen Dansgaard-Oeschger events.



Figur 31. Målinger af CO_2 -koncentrationen i isens luftbobler og af isens δ -værdi. Målingerne er fra knap 1900 meters dybde, og isen stammer derfor fra sidste istid. Det ses, at temperaturen – som den er indikeret ved δ -værdien – og CO_2 -koncentrationen tilsyneladende vekslede mellem to tilstande. Det er disse bratte ændringer, der i dag betegnes Dansgaard-Oeschger events.

I dag mener de fleste, at årsagen til de pludselige klimaændringer er, at Golfstrømmen veksler mellem to tilstande. I den ene tilstand rækker Golfstrømmen langt op i Nordatlanten. Det overfladevand, der føres med Golfstrømmen op i Nordatlanten, har en relativt høj saltkoncentration pga. den store fordampning, vandet udsættes for, på dets passage gennem det ækvatoriale område. Når vandet afkøles på sin vej mod nord, får det en højere densitet end det omgivende vand, der er langt mere ferskt. I området øst for Grønland synker det tunge vand ned, og trækker dermed Golfstrømmen. Det er denne proces, som betegnes ”dybhavspumpen”, der er ansvarlig for det milde klima i Nordeuropa. Den anden tilstand opstår under istiderne, når iskapperne på Grønland og i Nordamerika har vokset sig så store, at de bliver ustabile og store mængder is frigøres og sendes ud i Nordatlanten. Isen lægger et ”låg” af ferskvand på Nordatlanten og svækker dermed dybhavspumpen og Golfstrømmen, der herefter vil rykke mod syd. Denne proces mener man er ansvarlig for de gradvise afkølinger, som kan observeres i Dye 3-kernen.

Efter perioden med afkøling vil opbygningen af iskapperne på Grønland og i Nordamerika fortsætte, men der vil gå lang tid, før de har vokset sig så store, at store mængder is atter sendes ud i Nordatlanten. Dette giver Golfstrømmen mulighed for på ny at trænge mod nord, og denne proces, mener man, er ansvarlig for den pludselige opvarmning på adskillige grader, som kan observeres i Dye 3-kernen. Analyserne af Dye 3-kernen viste således for første gang, at hurtige og voldsomme klimaændringer er en naturlig del af klimasystemets opførsel under istiderne. Netop Golfstrømmens klimatiske betydning spiller en stor rolle i den moderne debat om klimaændringer, og senest har en Hollywood-film skildret et scenario, hvor en fortsat global opvarmning forårsager så store mængder smeltevand i Nordatlanten, at det vil svække Golfstrømmen i så stor grad, at det udløser en ny istid.²⁵⁰ Selvom begivenhederne i filmen er urealistiske, illustrerer det, at en stor del af den viden, vi i dag har om klimaets opførsel både på lang og på

²⁵⁰ Emmerich (2004).

kort tidsskala – viden, der danner grundlaget for den moderne debat om klimaændringer – stammer fra de detaljerede informationer om klimaets historie, som første gang blev afdækket med analyserne af iskernen fra Dye 3.

Kapitel 5. Konklusion

5.1 Opfølgning på teser

Hensigten med dette speciale var at få en større indsigt i den samfundsmæssige sammenhæng, som klimaforskningen har udviklet sig i og i de økonomiske, teknologiske og samfundsmæssige forhold, der har haft betydning for klimaforskningens udvikling. Gennem et kontekstuel studie af baggrunden for dansk iskerneforskning og iskerneforskningens udvikling frem til starten af 1980'erne er de teser, som blev opstillet i kapitel 1, blevet efterprøvet. 1. tese var, at det ikke var tilfældigt, at idéen om palæoklimatiske studier af iskerner blev fostret i starten af 1950'erne. I kapitel 2 blev det vist, at der netop i starten af 1950'erne var fokus på globale klimaændringer. I århundredets første halvdel havde flere studier vist, at drastiske klimaændringer kunne finde sted. F.eks. påviste geologerne Hartz og Milthers og senere Johannes Iversen, at flere voldsomme klimaændringer var indtruffet i forbindelse med sidste istids afslutning. I samme periode viste glaciologen Hans Ahlmann, at gletscherne i det nordatlantiske område havde trukket sig tilbage siden det 20. århundredes begyndelse, og meteorologen Leo Lysgaard dokumenterede, at der siden slutningen af 1800-tallet havde været en global tendens mod stigende temperaturer. De stigende temperaturer havde siden 1920'erne fået stor betydning for det grønlandske fiskeri, der i stor udstrækning var blevet omlagt fra hval- og sælfangst til torskefiskeri i takt med, at torsken bredte sig op langs den vestgrønlandske kyst. Da moderniseringen af det grønlandske samfund blev påbegyndt i 1950'erne, var der megen debat om torskefiskeriets økonomiske rolle i denne proces, og i den forbindelse var klimaets fremtidige udvikling ofte et emne i debatten. Willi Dansgaard fulgte debatten bl.a. gennem sin deltagelse i møderne i KVUG op gennem 1950'erne. Samtidig med, at 1950'erne var et årti, hvor klimaændringerne fik en vis opmærksomhed både i offentligheden og i videnskabelige kredse, var det også en periode, hvor de geofysiske videnskaber var inde i en rivende udvikling. Denne udvikling blev bl.a. initieret af udviklingen

inden for atom- og kernefysikken under anden verdenskrig. Som det er blevet vist, var der under og efter krigen udviklet en række metoder, som i 1950'erne fandt anvendelse inden for geovidenskaberne. Den offentlige opmærksomhed omkring klimaet og udviklingen af nye metoder gav tilsammen yderst gunstige vilkår for nye, banebrydende studier af Jordens klimasystem.

Interessen for klimaændringer og anvendelsen af nye metoder i studiet af det geofysiske system blev ført sammen i Willi Dansgaards arbejde. Gennem sit ophold på Grønland og sin ansættelse ved Meteorologisk Institut havde Dansgaard fået interesse for geofysik og meteorologi, og da han blev ansat ved Biofysisk Laboratorium, arbejdede han med anvendelsen af et nyt, nøjagtigt massespektrometer. Tilfældigheder gjorde, at Dansgaard ikke kom til at indføre massespektroskopien i biofysisk forskning, som han ellers var ansat til. I stedet udnyttede Dansgaard den nye metode til at studere det geofysiske system, som han i kraft af sin tidligere beskæftigelse havde fået interesse for. At Dansgaard gik sine egne veje betød, at der i det forskningsmiljø, hvor han befandt sig, ikke var store muligheder for faglig sparring. I stedet forstod Willi Dansgaard at udnytte sit personlige netværk til fulde og fik herigennem mulighed for at videreudvikle sin teori om nedbørs isotopiske sammensætning som en temperaturindikator. Dansgaards ihærdighed på dette punkt var afgørende for, at hans arbejde kunne udvikle sig fra nogle partikulære studier til en generel teori, der kunne danne grundlaget for bl.a. klimatiske studier af den grønlandske indlandsis.

Dansgaards ihærdighed kom også til udtryk gennem hans opbygning af et fagligt netværk i slutningen af 1950'erne. Her fik han kontakt til både europæiske og amerikanske forskere, der studerede den grønlandske indlandsis, og han fik derigennem mulighed for at anvende isotopmetoden inden for glaciologien. Disse kontakter udnyttede Dansgaard i slutningen af 1960'erne til at få adgang til Camp Century-kernen, der for første gang gav mulighed for realiseringen af idéen om at rekonstruere klimaets udvikling langt tilbage i tiden. 2. tese i dette speciales første kapitel var netop, at Dansgaard som person havde afgørende betydning for den succesfulde udvikling af dansk iskerneforskning. Dette underbygges af Dansgaards

rolle som beskrevet ovenfor, men det er også blevet klart, at flere andre faktorer havde betydning for Dansgaards muligheder. Dansgaard nød stor faglig respekt blandt de amerikanske forskere, som han samarbejdede med, men deres velvillighed skyldes i høj grad også Dansgaards nationalitet. Amerikanerne var interesserede i at bevare et godt forhold til de danske myndigheder, der gennem KVUG havde den overordnede styring med alle forskningsprojekter i Grønland. Det var derfor i amerikanernes egen interesse at samarbejde med danske forskere for derigennem at få goodwill hos de danske myndigheder.

Videnskabens udvikling er ikke kun bestemt af forskernes ønsker og idéer, hvilket i tilfældet med iskerneforskningen er blevet belyst i kapitel 4. Det faktum, at forudsætningen for iskernestudier er fremskaffelsen af kilometerlange iskerner fra bl.a. Grønland, gør forskningen afhængig af en række økonomiske og teknologiske forhold. Den amerikanske interesse i iskerneboringer var således en nødvendig forudsætning for iskerneforskningen, da USA som de eneste havde de økonomiske og teknologiske midler til at løse de logistiske opgaver, der er forbundet med iskerneboringer midt på Indlandsisen. De rigelige amerikanske midler til studier af den grønlandske indlandsis skyldtes i stor udstrækning USA's militære interesse i polaregnene. De midler, der tilflød den amerikanske glaciologiske forskning særligt i 1960'erne, men også under GISP i 1970'erne, var dog ikke en garanti for succes for iskerneforskningen. Det kom bl.a. til udtryk gennem historien om udviklingen af et nyt amerikansk dybdebor, efter at det første var gået tabt i Antarktis. Selvom der blev brugt adskillige millioner dollars på udviklingen af et nyt amerikansk bor, måtte amerikanerne i 1977 opgive projektet. Det var min 3. tese, at de trangere økonomiske vilkår, som de danske forskere havde, var en del af grunden til, at de fik succes med udviklingen af et dybdebor. Ud fra de budgetter for GISP, som blev diskuteret i kapitel 4, er det klart, at danskerne ikke havde mulighed for at udvikle bor af samme størrelsesorden som amerikanerne. De mindre midler tvang dem derfor til at tænke i nye baner, men det var ikke ensbetydende med, at de ville få succes med projektet. Når det alligevel lykkedes at udvikle et dansk dybdebor, mener jeg, at det i høj grad skyldes den danske gruppes alsidighed og interne

samarbejdsevne. Dansgaards ansættelsesstrategi havde skabt en gruppe med både praktisk og teoretisk ekspertise, og samtidig var det en gruppe, hvor folk var afhængige af at arbejde sammen. Både i forbindelse med udviklingen af det danske shallowbor og senere i forbindelse med udviklingen af ISTUK havde det stor betydning, at det var forskerne *selv*, der byggede boret. De skulle håndtere boret i felten, og det var derfor i deres egen interesse, at boret var lethåndterligt. Disse faktorer tilsammen var grunden til, at danskerne i modsætning til amerikanerne havde succes med udviklingen af et dybdebor.

Min 4. tese om iskerneforskningens udvikling var, at den offentlige debat i 1970'erne om risikoen for en ny istid var med til at sikre den økonomiske støtte til iskerneforskningen. En grundigere undersøgelse af denne tese har ikke fået plads i specialet, da det undervejs blev klart, at den offentlige debat ikke var afgørende for støtten til iskerneforskningen. Der er dog hold i tesen i den udstrækning, at den danske støtte til iskerneforskningen til dels skyldtes en politisk interesse i klimaændringerne i Grønland. Der var i 1970'erne en debat om risikoen for en ny istid, da man vidste, at mellemistider typisk kun varer omkring 10.000 år, og at den nuværende mellemistids startede for ca. 10.000 år siden. Derudover havde flere klimastudier – bl.a. analyserne af Camp Century-kernen – vist, at klimaet kan ændre sig pludseligt og drastisk, og der var derfor en vis offentlig opmærksomhed omkring risikoen for en nært forestående istid. Op gennem 1970'erne kan man finde flere avisartikler, hvor iskerneforskningen sættes i relation til debatten om en ny istid, men det er ikke mit indtryk, at den offentlige opmærksomhed var afgørende for den økonomiske støtte til forskningen.²⁵¹ Iskerneforskningen i almindelighed og isotopmetoden i særdeleshed var så revolutionerende, at det efter analyserne af Camp Century-kernen var klart, at fortsatte klimatologiske iskerne studier skulle gennemføres. Selvom der var en udbredt offentlig interesse for iskerneforskningen op gennem 1970'erne, mener jeg derfor ikke, at den offentlige debat har haft afgørende betydning for forskningens vilkår.

²⁵¹ Aaby (1974) og Dansgaard (1977).

Min 5. tese var nærmere en konstatering, som jeg forventede ville blive underbygget i specialet. Konstateringen var, at det har haft altoverskyggende betydning for dansk polarforskning – og især for iskerneforskningen – at Grønland er dansk suverænitetsområde. Det forhold har således været en underliggende betingelse for hele den udvikling, som er beskrevet i dette speciale. Først og fremmest var den danske interesse i Grønland årsagen til den udbredte debat om klimaændringer, der fandt sted i 1950'erne. Dernæst skyldtes fremgangen for de geofysiske videnskaber i Danmark i samme periode i stor udstrækning det danske engagement i Grønland. Det politiske spil om amerikanernes tilstedeværelse i Grønland var den overvejende grund til oprettelsen af et professorat i teoretisk meteorologi, og et af argumenterne for et professorat i geofysik var tilsvarende de mange forskningsopgaver i Grønland.

Hvad angår Willi Dansgaards arbejde, var Grønlands tilknytning til Danmark årsagen til, at Dansgaard efter sin embedseksamen blev udstationeret i Grønland. Som det er beskrevet, gjorde Grønland et uudsletteligt indtryk på ham, da han boede der i 1947-48, og det var hans oplevelser i det år, der gjorde, at han senere ønskede at vende tilbage. Der gik ti år, før Dansgaard i større udstrækning fik mulighed for at analysere prøver af Indlandsisen. De første prøver var indsamlet under EGIG-ekspeditionen, der primært havde fransk deltagelse, og Dansgaard fik dem stillet til rådighed, fordi de danske myndigheder kunne forlange, at prøver fra Grønland blev stillet til rådighed for danske forskere. Således var det også den danske indflydelse i Grønland, der gav Dansgaard mulighed for at bevæge sig over i glaciologien.

Danske myndigheders interesse i klimaets udvikling i Grønland var et af de vigtigste argumenter for den danske støtte til GISP-projektet i 1970'erne. Samtidig var den danske suverænitæt i Grønland en vigtig brik i spillet om styrkeforholdet mellem de danske og de amerikanske deltagere i GISP-samarbejdet. Det er flere steder vist, hvorledes de danske forskere fik en fordelagtig behandling, fordi amerikanerne var interesserede i at bevare et godt forhold til Danmark.

5.2 Videre studier

Jeg har i dette speciale undersøgt, hvorledes ét af mange forskningsprogrammer inden for klimaområdet har udviklet sig som følge af bl.a. politiske, økonomiske og internt faglige forhold. Ligesom det er tilfældet med megen klimaforskning i dag, har den danske iskerneforskning gennem hele perioden fundet en del af sin berettigelse i den politiske interesse for en forståelse af klimaets udvikling dels i fortiden og i særdeleshed i fremtiden. Set fra et bredere videnskabshistorisk synspunkt illustrerer historien om dansk iskerneforskning de eksterne forhold, der giver betingelserne for videnskabens udvikling. Iskerneforskningens historie fra Dansgaards tidlige studier i starten af 1950'erne til afslutningen af Dye 3-boringen i 1982 indeholder både store videnskabelige opdagelser, opbygning af faglige netværk, samspil mellem forskning og politik samt teknologisk innovation. Iskerneforskningen har været betinget af militære, økonomiske og faglige interesser, og i dette speciale har jeg givet eksempler på, hvordan disse interesser har haft afgørende indflydelse på forskningens udvikling.

Som det blev antydnet i forordet til dette speciale, er historiske studier af klimaforskningens udvikling af særlig interesse, når de bliver sat i relation til den moderne videnskabelige og politiske debat om klimaændringer. Jeg mener ikke, at den moderne debat skal være *udgangspunktet* for historiske studier af klimaforskningen, men nærmere, at historiske studier af klimaforskningen skal være udgangspunktet for en mere nuanceret forståelse af den moderne debat. Nærværende studie af den danske iskerneforskningens historie, mener jeg, danner et godt grundlag for mere tilbundsående studier af iskerneforskningens udvikling. I videre studier vil det være oplagt at følge iskerneforskningen op gennem 1980'erne og 1990'erne, hvor den offentlige debat om klimaændringer fik langt større betydning for forskningen.

Kildematerialet til dette speciale har været begrænset til videnskabelige artikler, arkivmateriale, Willi Dansgaards personlige papirer, interviews med nogle få af aktørerne i den danske iskerneforskning samt til sekundære kilder. I et grundigere studie vil det især være oplagt at se på amerikanske kilder, der kan belyse

amerikanernes rolle i iskerneforskningen yderligere. Især vil dokumenter fra NSF og CRREL kunne føje nye aspekter til forståelsen af amerikanernes interesse i Grønland, deres forhold til de danske myndigheder og til det internationale samarbejde. I dette speciale har der været særlig stor fokus på Willi Dansgaards rolle, hvilket er begrundet i hans centrale stilling i iskerneforskningen og i de tilgængelige kilder. I videre studier vil det være interessant at se nærmere på de mange andre aktører, der har taget del i iskerneforskningen.

Dette speciale er derfor forhåbentlig kun første skridt mod, at forståelsen af den moderne debat om klimaændringer og samspillet mellem politik og forskning på klimaområdet kan blive forankret i grundige studier af klimaforskningens og klimadebattens historie.

Utrykte kilder

Meteorologisk Instituts Arkiv, Rigsarkivet.

Kommissionen vedr. undersøgelse af den danske vejrteneste 1945-1950.

Udvalget til coordination af forskellige opgaver på Grønland, 1947.

Eksekutivudvalget 1946-1952.

Betænkning, Kommissionen af 23. april 1949 vedr. den danske vejrteneste.

Københavns Universitets, Naturvidenskabeligt Fakultets arkiv, Rigsarkivet.

Referater af fakultetsrådsmøder, 1953.

Journaler 1948. Mappe vedr. professorat i teoretisk meteorologi.

Arkiv ved Geofysisk Afdeling

Dansgaards korrespondance fra 1958 og frem.

Bevillingsansøgninger til Carlsbergfondet, Statens Almindelige Videnskabsfond og Statens Teknisk-Videnskabelige Fond.

Derudover indeholder arkivet forskellig korrespondance, som Dansgaard har modtaget i kopi.

Mandeville Special Collections (<http://orpheus.ucsd.edu/speccoll/>)

Korrespondance mellem Harold Urey og Willi Dansgaard, 1953-1954.

Interviews med

Willi Dansgaard, interviewet af Finn Aaserud, september 1993.

Erik Eliassen, interviewet af Maiken Lolck, 17. november 2003.

Claus Uffe Hammer, interviewet af Maiken Lolck, 4. marts 2004.

Henrik Clausen, interviewet af Maiken Lolck, 27. – 28. maj 2004.

Sigfus Johnsen, interviewet af Maiken Lolck, 25. juni 2004.

Willi Dansgaard, samtale med Maiken Lolck, 3. august 2004.

Bibliografi

- Ahlmann, Hans Wilhelmson (1948): *Den nutida klimatfluktuationen och Grönland. Det Grönlandske Selskabs årskrift*, 9-38.
- Alley, Richard B. (2000): *The Two-mile Time Machine : Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future*. Princeton University Press.
- Anonym (1959): *Oxygen Isotope Studies. Transactions of the American Geophysical Union*, **40**, 81-84.
- Bech, Sven Cedergreen (1979): *Danske biografiske leksikon*, 3. udg. Gyldendal.
- Brandt, Palle, 1955: "Torsken og Grönland" *Kronik, Aalborg Amtstidende* 30. september.
- Christianson, Gale E. (1999): *Greenhouse - The 200-year story of global warming*. Constable.
- Damm, Chr., 1955: "Hvornaar kommer det danske Stor-Fiskeri ved Grönland?" *Jydske Tidende* 9. august.
- Dansgaard, Inge M. (1992): *Inges sange*. Willi Dansgaard.
- Dansgaard, Willi (1951): *Massespektrometrisk bestemmelse af isotopforhold. Kemiske månedsblad*, **32**, 77 - 83.
- Dansgaard, Willi, 1952a: "Anvendt massespektroskopi", *Ingeniøren*.
- Dansgaard, Willi (1952b): *Stabile isotopers anvendelse i biologiske forskning. Ugeskrift for Læger*, **111**, 1209-1213.
- Dansgaard, Willi (1953): *The Abundance of O¹⁸ in Atmospheric Water and Water Vapour. Tellus*, **5**, 461-469.
- Dansgaard, Willi (1954b): *The O¹⁸-abundance in fresh water. Geochimica et Cosmochimica Acta*, **6**, 241-260.
- Dansgaard, Willi (1964): *Stable Isotopes in Precipitation. Tellus*, **16**, 436-468.
- Dansgaard, Willi, 1977: "Risiko for en ny istid", *Berlingske Tidende* 22/6.
- Dansgaard, Willi (2000): *Grönland i istid og nutid*. Rhodos.

- Dansgaard, Willi, *et al.* (1982): *A New Greenland Deep Ice Core. Science*, **218**, 1273-1277.
- Dansgaard, Willi, *et al.* (1973): *Stable Isotope Glaciology. Meddelelser om Grønland*, **197**.
- Dansgaard, Willi og Sigfus J. Johnsen (1969a): *A flow model and a time scale for the ice core from Camp Century, Greenland. Journal of Glaciology*, **8**, 215-223.
- Dansgaard, Willi, *et al.* (1969b): *One Thousand Centuries of Climatic Record from Camp Century on the Greenland Ice Cap. Science*, **166**, 377-381.
- Dansgaard, Willi og Anker Weidick (1965): *Klimaforværring i Grønland? Tidsskriftet Grønland*, 399-405.
- Dansk Underigspolitisk Institut (1997): *Grønland under den kolde krig. Dansk og amerikansk sikkerhedspolitik 1945-68*. Dansk Udenrigspolitisk Institut.
- Daugherty, Charles Michael (1963): *City under the ice, The story of Camp Century*. Collier-Macmillan Ltd.
- Dole, Ronald E. (1996): *Solar System Astronomy in America*. Cambridge University Press.
- Emiliani, Cesare (1955): *Pleistocene temperatures. Journal of Geology*, **63**, 538-578.
- Emmerich, Roland, *The Day After Tomorrow*. Twentieth Century Fox, 2004.
- Epstein, Sam (1997): *The role of stable isotopes in geochemistries of all kinds. Annual Reviews of the Earth and Planetary Sciences*, **25**, 1-21.
- Epstein, Sam og T. Mayeda (1953): *Variation of O¹⁸ content of waters from natural sources. Geochimica et Cosmochimica Acta*, **4**, 213-224.
- Epstein, Samuel, *et al.* (1951): *Carbonate-water isotopic temperature scale. Bulletin of the Geological Society of America*, **62**, 417-426.
- Fleming, James Rodger (1998): *Historical Perspectives on Climate Change*. Oxford University Press.
- Gundestrup, Niels, S. B. Hansen og Sigfus Johnsen (1988): *Refinements og the UCPH shallow drill. Ice core drilling, Grenoble, France, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement*, 6-13.

- Gundestrup, Niels, Sigfus Johnsen og Niels Reeh (1984): *ISTUK a deep ice core drill system. CRREL special report*, 7-19.
- Hammer, Claus Uffe (1977): *Past volcanism revealed by Greenland Ice Sheet impurities. Nature*, **270**, 482-486.
- Hansen, Paul M. (1951): *Fortsat stor torskebestand i havet ved Grønland. Dansk fiskeri tidende*, **69**, 105-107.
- Hansen, Paul M. (1953): *Torskebestanden ved Grønland er for tæt og bør udtyndes. Dansk fiskeri tidende*, **71**, 90-92.
- Hartz, Nikolaj og Vilhelm Milthers (1901): *Det sen-glaciale Ler i Allerød Teghærksgrav. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*, **8**, 31-60.
- Iversen, Johannes (1954): *Studies in vegetational history in honour of Knud Jessen. Vol. 80, Danmarks Geologiske Undersøgelse, II. Række.*
- Johnsen, Sigfus J., et al. (1970): *Climatic Oscillations 1200-2000 AD. Nature*, **227**, 482-483.
- Johnsen, Sigfus J., Willi Dansgaard og Henrik Brink Clausen (1972): *Oxygen Isotope Profiles through the Antarctic and Greenland Ice Sheets. Nature*, **235**, 429-434.
- Knudsen, Henrik (2004): Ph.d.-afhandling, *Kapitel om "Forskningsrådets virksomhed 1946-60 - statistik og historie"*, Afdeling for Videnskabshistorie, Århus Universitet. Under udarbejdelse.
- Kragh, Helge (1987): *An introduction to the historiography of science.* Cambridge University Press.
- Københavns Universitet (1964): *Universitetets årbog 1948 - 1953.*
- Københavns Universitet (1966): *Universitetets årbog 1964-1965.*
- Langway, C. C. (1967): *Stratigraphic analysis of a deep ice core from Greenland. Vol. 77, Research Report, U.S. Army Material Command, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.*
- Langway, C. C., H. Oeschger og W. Dansgaard, Eds. (1985): *Greenland Ice Core: Geophysics, Geochemistry, and the Environment.* Geophysical Monograph 33, American Geophysical Union.
- Levi, Hilde (1976): *25 år med kulstof-14 datering. Naturens Verden*, 409-414.

- Libby, Willard F. (1960): *Radiocarbon dating. Nobel Lecture.*
- Lidegaard, Bo (1999): *I Kongens Navn*, 2. udg. Samleren.
- Lysgaard, Leo (1949): *Recent climatic fluctuations.* H. Hagerups Forlag.
- Mangerud, Jan, *et al.* (1974): *Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification.* *Boreas*, **3**, 109-127.
- Mayewski, Paul Andrew og Frank White (2002): *The Ice Chronicles.* University Press of New England.
- Meteorologisk Institut (1972): *Meteorologisk Institut gennem hundrede år.* Det Danske Meteorologiske Institut.
- Meteorologisk Institut: *Jordens magnetfelt.* [Findes online på http://www.dmi.dk/dmi/index/viden/jordens_magnetfelt.htm.]
- Münther, V. og Willi Dansgaard (1951). *Grafitbasalten i NV-Disko. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*, **12**, 159-160.
- Nielsen, Anita Kildebæk (2004): *Kapitel 10: Fysiologi*, i *Dansk Videnskabshistorie, bind 4.*
- Nielsen, Jørgen (1949): "*Varmetid eller istid?*" *Kronik, Fyens Stiftstidende* 22. november.
- Nier, Alfred Otto (1947): *A Mass Spectrometer for Isotope and Gas Analysis. The Review of Scientific Instruments*, **18**, 398-411.
- Nier, Alfred Otto (1981): *Some reminiscences of isotopes, geochronology, and mass spectrometry. Annual Reviews of the Earth and Planetary Sciences*, **9**, 1-17.
- Nissen, Henrik S. (1991): *Landet blev by.* Vol. 14, *Gyldendal og Politikens Danmarkshistorie*, Gyldendal.
- Oldroyd, David R. (1996): *Thinking about the earth : a history of ideas in geology.* Athlone.
- Olsen, Johannes (1948a): "*Bliver Nordeuropas Klima mildere?*" *Aarhus Stiftstidende* 10. april.
- Olsen, Johannes (1948b): "*Gaar vi en ny Istid i Møde?*" *Aarhus Stiftstidende* 21. april.
- Philbert, Poul-Erik (2002): "*Orm i indlandsisen*", *Polarfronten*, nr. 2, 8-9.

- Ries, Christopher Jacob (2003): *Retten, magten og æren : Lauge Koch sagen - en strid om Grönlands geologiske udforskning*. Lindhardt og Ringhof.
- Schytt, Valter (1974): *Obituary, Hans W:son Ahlmann - 1889-1974*. *Journal of Glaciology*, **13**, 1974.
- Tauber, Henrik (1976): *Kulstof-14 metoden - resultater og udvikling*. *Naturens Verden*, 415-424.
- The GISP ad hoc Committee (1976): *Greenland Ice Sheet Program, GISP, Science Plan*.
- Troels-Smith, Jørgen (1972): *"Johannes Iversen: 27. december 1904 - 17. oktober 1971"*, *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*.
- Taagholt, Jørgen (2002a): *Thule Air Base. Grönland*, **50**, 42-112.
- Taagholt, Jørgen (2002b): *Thule Air Base. Tidsskriftet Grönland*, **50**, 42-112.
- Urey, Harold (1947): *The Thermodynamic Properties of Isotopic Substances*. *Journal of the Chemical Society*, 562-581.
- Urey, Harold C., et al. (1951): *Measurement of paleotemperatures and temperatures of the upper Cretaceous of England, Denmark, and the southeastern United States*. *Bulletin of the Geological Society of America*, **62**, 399-416.
- Wager, Walter (1962): *Camp Century: City Under the Ice*. Chilton Company.
- Wear, Spencer: *The Discovery of Global Warming*. [Findes online på www.aip.org/history/climate.]
- Wear, Spencer R. (2003): *The Discovery of Global Warming*. Harvard University Press.
- Wolff, Torben, et al. (1979): *Köbenhavns Universitet 1479-1979*. Vol. 12 - Det matematisk-naturvidenskabelige Fakultet, Köbenhavns Universitet.
- Wright, Edmund A.: *CRREL's first 25 years, 1961-1986*. [Findes online på www.crrel.usace.army.mil/welcome/history/CRREL.First25.Part1.pdf.]
- Aaby, Bent (1974): *"Stadig köligrere klima dette århundrede ud"*, *Berlingske Tidende* 26/12.