

Datering af Fortiden

Hvordan blev kulstof 14-metoden etableret og videreudviklet i Europa?

AF TORKILD ANDERSEN

»Våbenløs på forskningens slagmark, og altså ilde faren, er den arkæolog, der ikke kan tidsfæste sine oldsager«. Med disse ord indledte Johannes Brøndsted, Danmarks første rigsantikvar, en af sine artikler om arkæologi og beskrev hermed den situation, som arkæologer kan blive stillet overfor ved nye fund. Men arkæologerne var ikke de eneste forskere, som kunne komme i den situation Tilsvarende kunne siges om geologer, antropologer, zoologer, klimaforskere og mange andre. Før midten af forrige århundrede, hvor de nu anvendte naturvidenskabelige dateringsmetoder begyndte at blive udviklet, kunne udøverne af disse videnskaber ofte være i en vanskelig situation, når de skulle afgøre kronologiske spørgsmål, der var relateret til de sidste 50-100.000 år.

I Danmark var arkæologerne på rimelig sikker grund tilbage til jernalderens begyndelse ca. 500 år f.Kr., hvilket kan tilskrives de mange forbindelser til Romerriget og Rom. For tiden før jernalderen havde arkæologerne etableret en relativ kronologi baseret på stratigrafi og typologi. Disse metoder tillod ikke en absolut datering, hvorfor det var vanskeligt at opnå en sikker vurdering af, hvornår fx agerbruget vandt indpas i Danmark - eller hvornår jættestuerne var byggede. Ved midten af det 20. århundrede var det den generelle opfattelse inden for arkæologi, at agerbrugets indførelse i Danmark var sket ca. 2100 år f.Kr., og at den tilsvarende udvikling i Orienten var sket ca. 4-5000 år f.Kr. I løbet af de følgende 20 år blev det klart, at disse tidsangivelser skulle revurderes kraftigt.

I begyndelsen af det 20. århundrede udviklede svenske naturforskere to dateringsmetoder, pollenanalyse og varvkronologi, der fik stor betydning for fagene botanik, arkæologi og geologi. Med pollenanalyse blev det muligt at følge skovens historie tilbage til istiden og at indplacere arkæologiske fund i forhold hertil, men metoden tillod ikke absolutte dateringer. Varvkronologi muliggjorde absolut datering af geologiske strukturer, der kunne henføres til postglaciertiden (ca. 10.500 - 6900 år f.Kr.), idet isens tilbagevækning fra Sverige kunne følges år for år ved

optælling af de afsatte varv (lag af ler og grus) i de svenske søer. Gennem studieophold i Stockholm havde danske forskere tidligt tilegnet sig metoderne og anvendt dem på hjemlige problemstillinger. Inden for pollenanalyse markerede botanikeren Johannes Iversen sig som den person, der videreudviklede denne teknik, hvilket bl.a. gjorde det muligt at indplacere agerbrugets indførelse i Danmark i forhold til skovudviklingshistorien. Der var således tradition for, at nye dateringsmetoder hurtigt blev etablerede i Danmark, men også for, at danske forskere aktivt bidrog til en videreudvikling heraf.

Indtil kulstof 14-dateringsmetodens fremkomst var det muligt at gennemføre dateringerne som enkeltmandsstudier, men udnyttelsen af kulstof 14-metoden forudsatte et tværvideenskabeligt samarbejde mellem forskere fra fysik, kemi, arkæologi og geologi. Et sådant samarbejde havde ikke tidligere eksisteret. Hvordan blev dette samarbejde etableret og ledet i de lande, der først tog metoden op, og var der forskelle fra land til land med hensyn til forskningsstrategi og forskningsindsats?

Kulstof 14-metoden blev udviklet i USA fra 1946 til 1950, og den gjorde det muligt at datere kulstofholdige fund, der havde ligget i jorden i op til 30-40.000 år. Danmark og Holland blev de første lande uden for USA, som oprettede kulstof 14-dateringslaboratorier. I perioden fra 1951 til 1960 blev først Danmark og siden Holland det førende land i Europa på kulstof 14-dateringsområdet. Etableringen og videreudviklingen af den nye dateringsmetode blev meget forskellig i disse to lande, og årsagerne hertil vil blive søgt belyst i denne artikel.

Forspillet til kulstof 14-dateringsmetoden

Forudsætningerne for kemikeren W. F. Libbys udvikling af kulstof 14-metoden var den grundvidenskabelige forskning inden for atomkernefysik og atmosfærekemi, som var udført i 1930'erne. Fysikerne fik i den periode skabt indsigt i atomkernens opbygning som

bestående af to typer partikler, positivt ladede protoner og neutrale neutroner. Et grundstof karakteriseres af antallet af protoner i atomkernen, for kulstof er antallet seks, mens antallet af neutroner for stabile atomer kan variere inden for snævre grænser. For kulstof kan neutronantallet være seks eller syv, og disse atomer benævnes henholdsvis kulstof 12 - og kulstof 13 -isotoperne. Kulstof 14 -isotopen indeholder otte neutroner, hvilket gør den ustabil (radioaktiv); denne isotop henfalder til kvælstof under udsendelse af en elektron.

I naturen dannes kulstof 14 -isotopen som følge af, at Jordens atmosfære er udsat for kosmisk stråling fra verdensrummet. Ved processer mellem den kosmiske stråling og atmosfæren produceres der kaskader af neutroner i stor højde over Jorden. På deres videre vej mod Jordens overflade reagerer neutronerne med luftens kvælstof under dannelse af kulstof 14 -isotopen, som dog hurtigt iltes til kuldioxid. Ved opblanding i atmosfæren fordeles det radioaktive kuldioxid over hele jordkloden, hvorfra det optages i planter og træer eller opløses i havet. Opdagelsen af kulstof 14 -isotopen og den efterfølgende frembringelse af denne isotop ved brug af accelerators fandt sted i Californien, hvor W. F. Libby var ansat ved universitetet. Libby fik derfor tidligt et førstehånds kendskab til kulstof 14 -isotopen.

Siden begyndelsen af det 20. århundrede havde radioaktive isotoper været anvendt til geologisk aldersbestemmelse. For at en radioaktiv isotop kan være velegnet til aldersbestemmelse, skal dens halveringstid være sammenlignelig med de aldre, man ønsker at bestemme. For arkæologiens vedkommende ville en radioaktiv isotop med en halveringstid på ca. 3000-7000 år være ønskelig. Desuden skal de genstande, man ønsker at datere, indeholde det samme grundstof, som den radioaktive isotop tilhører. Kulstof 14 -isotopen med en halveringstid på ca. 5700 år opfyldte til fulde dette ønske.

Udviklingen af kulstof 14 -dateringsmetoden

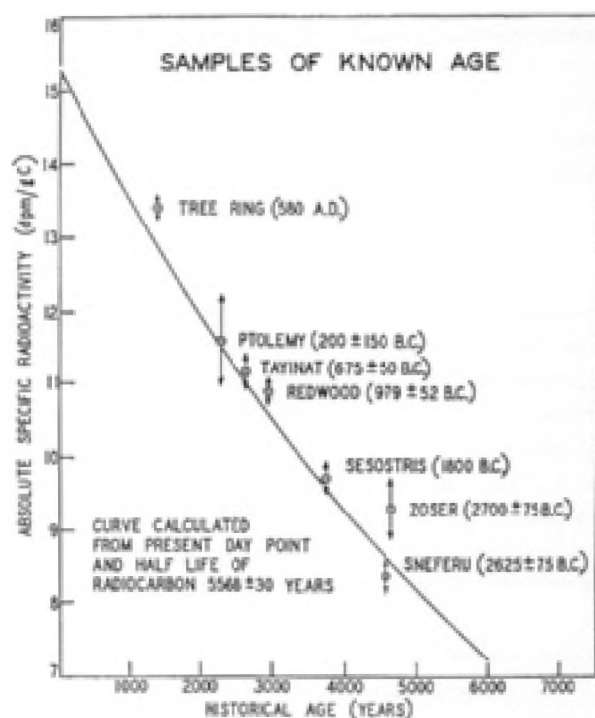
Selv om forudsætningerne for udviklingen af kulstof 14 -dateringsmetoden var til stede, kort før 2. Verdenskrig brød ud, blev vejen til dette mål fyldt med forhindringer. Straks ved USA's indtræden i verdenskrigen blev Libby tilknyttet Manhattan-projektet, der havde til formål at udvikle atombomben. Først efter krigen, hvor han blev ansat ved universitetet i Chicago, kunne han fremlægge sine planer for en dateringsmetode ba-

seret på kulstof 14 -isotopen (Libby 1952). Libby antog, at forholdet mellem mængderne af kulstof 14 og de stabile kulstofisotoper i atmosfæren har været konstant i de sidste 100.000 år, og at alle levende organismer over hele jordkloden til enhver tid vil indeholde det samme forhold mellem kulstof 14 og de ikke-radioaktive kulstofisotoper, som findes i atmosfæren. Når en levende organisme afgik ved døden, ville dette forhold kun ændres som følge af henfaldet af kulstof 14 -isotopen. Da denne isotops halveringstid kunne måles, ville en bestemmelse af en afdød organismes indhold af kulstof 14 gøre det muligt at beregne, hvornår organismen var død (Libby 1952).

Årene 1946-1948 stillede Libby og hans ph.d.-studerende E.C. Anderson over for store problemer, men i løbet af 1946-1947 blev de fleste af disse overvundet, hvorpå man i 1948 kunne koncentrere sig om afprøvningen af dateringsmetoden på planter og træ indsamlet fra hele jordkloden for at bevise, at mængden af kulstof 14 -radioaktivitet var den samme uanset voksested. Den afsluttende afprøvning af metoden blev udført på genstande, hvis alder man kendte med stor nøjagtighed fx fra den ægyptiske kronologi. Til udvælgelse af de genstande, hvis alder man kendte, fik Libby i 1948 etableret et nært samarbejde med ledende amerikanske arkæologer og geologer. Kulstof 14 -metoden viste sig i stand til at reproducere de historiske data (se figur 1). Optimismen var især stor inden for arkæologi, hvor man havde meget store forventninger til metodens brug. Man var ikke klar over, at det kunne blive nødvendigt at indføre væsentlige modifikationer af metoden i takt med, at denne blev forbedret og eventuelle fejlkilder elimineret.

Nyheden om kulstof 14 -metoden spredes

Frem til januar 1948 var Libbys projekt kun kendt af en ganske lille kreds af kemikere og arkæologer i Chicago samt af forskere, der arbejdede i Libbys laboratorium, men med andre projekter end dateringsmetoden. Til disse hørte fysikeren Hilde Levi fra Zoofysiologisk Laboratorium ved Københavns Universitet (Andersen 2007). Hun var fra september 1947 til maj 1948 i Chicago for at studere, hvordan man bedst kunne anvende kulstof 14 -isotopen til biologisk forskning. På nært hold kunne hun følge udviklingen af dateringsmetoden, så dansk forskning havde fra et tidligt tidspunkt kendskab til metodens eksistens og dens mulige potentiale. Hilde Levi havde allerede stor erfaring med radioaktive isotoper fra sine år i Køben-



FIGUR 1. De første kulstof ^{14}C -dateringer af prøver af historisk kendt alder blev foretaget i forbindelse med udviklingen af kulstof ^{14}C -dateringsmetoden i Chicago. Den fuldt optrukne kurve er beregnet på grundlag af kulstof ^{14}C -radioaktiviteten i nutidige prøver og en halveringstid for kulstof ^{14}C -isotopen på 5.568 ± 30 år. Den senere korrektion af halveringstiden til 5.730 ± 40 år vil kun forskyde den fuldt optrukne kurve ganske lidt mod højre.

havn på Institut for Teoretisk Fysik (1934-1940) og Carlsberglaboratoriet (1940-1943) samt fra Wennergrens Institut i Stockholm (1943-1946).

Den 9/1 1948 gav Libby sin første forelæsning om kulstof ^{14}C -dateringsmetoden. Det skete ved The Viking Supper Conference i New York, hvor tilhørerne var amerikanske arkæologer og geologer. Senere samme år udkom den første artikel om metoden i et amerikansk arkæologisk tidsskrift. Europæiske arkæologer og etnografer, der i slutningen af 1940'erne var på studieophold i USA, fx etnografen Helge Larsen fra Nationalmuseet i København, havde derfor tidligt kendskab til metodens eksistens og potentiale.

I marts 1949 kom den første publikation om metoden fra Libbys laboratorium, og i slutningen af 1949 blev dateringerne af de historisk kendte genstande publiceret (Arnold og Libby 1949). Herved blev også fysikere og kemikere opmærksomme på metoden. Kernefysikeren H. W. Aten fra Amsterdams Universitet fik således i forbindelse med en studierejse til USA i 1949 kendskab til metoden. I modsætning til Hilde

Levi informerede Aten sine hjemlige forskerkolleger om kulstof ^{14}C -metoden ved en forelæsning, der blev afholdt i Amsterdam i vinteren 1949-1950.

Interessen for kulstof ^{14}C -metoden i Danmark og Holland

Blandt arkæologer og geologer var der stor interesse for at få etableret kulstof ^{14}C -laboratorier i både Danmark og Holland. I København mobiliserede Helge Larsen fra Nationalmuseet ikke kun sine fagfæller fra museet, men også kollegaer fra Danmarks Geologiske Undersøgelser med det formål at skabe baggrunden for et dateringsudstyr i Danmark. Fra geologisk side fik han især støtte fra botanikeren Johannes Iversen. Trods gentagne henvendelser til Hilde Levi om at bidrage til realiseringen af et sådant projekt var hun afvisende. Hun havde selv stor fremgang med sin forskning inden for biologi, og hun ønskede ikke at blive inddraget i opbygningen af et kulstof ^{14}C -udstyr. Men presset fra arkæologer og geologer var stort, og hertil kom, at P. Brandt Rehberg, der i 1948 havde efterfulgt August Krogh som professor i zoofysiologi ved Københavns universitet, også fandt, at Hilde Levi burde præsentere kulstof ^{14}C -metoden i den serie af isotop-kollokvier, som hun havde været med til at starte i efteråret 1948. Kollokviet blev annonceret til den 13/2 1951, og det blev skelsættende for etableringen af kulstof ^{14}C -metoden i Danmark (Levi 1976).

Under titlen »Aldersbestemmelse baseret på måling af kulstof ^{14}C -indhold« præsenterede Hilde Levi kulstof ^{14}C -metoden for en stor tilhørerskare, hvoriblandt var Niels Bohr og de ledende danske arkæologer og geologer. Bohr indtog en særstilling i det danske forskersamfund, og det var vigtigt, at han ville stille sig positiv over for forslaget om at etablere et dansk kulstof ^{14}C -laboratorium. Ellers måtte det anses for umuligt at opnå økonomisk støtte til opbygningen og igangsætningen af laboratoriet. Efter Hilde Levis foredrag gav Bohr til kende, at han var positiv over for initiativet, men han tilbød ikke projektet husly på det institut, han ledede, eller bistand fra fysikerne til at løfte opgaven. På den tid var Bohr stærkt engageret i at genrejse Institut for Teoretisk Fysik, så det på ny kunne blive et internationalt førende fysikinstitut. Skulle Danmark have et kulstof ^{14}C -laboratorium, måtte andre tage sig af sagen; arkæologerne og geologerne forstod den besked.

I Holland var forløbet helt anderledes (Waterbolk 1983 og 1998). Her tog lederen af det biologisk-arkæo-

logiske institut i Groningen, professor A. E. van Giffen sagen i sin hånd, da han blev bekendt med afholdelsen af professor Atens forelæsning i vinteren 1949-1950. Han anmodede en af sine yngre medarbejdere, Willem Glasbergen, om at overvære og rapportere om forelæsningen. Tilbage meldingen fik van Giffen til at henvende sig til en af Hollands yngre fysikere, Hessel de Vries, som var ansat ved det fysiske institut ved universitetet i Groningen (figur 2). De Vries var uddannet som kernefysiker, men havde senere orienteret sin forskning mod biofysik, inden for hvilket område han blev en af de ledende forskere i Europa. Selv om de Vries var stærkt engageret i sin forskning, afslog han ikke van Giffens anmodning om støtte til opbygningen af et kulstof 14 -udstyr, men han gik ikke til opgaven med stor lyst. Van Giffen måtte flere gange minde ham om hans tilsagn. De Vries startede på opgaven i begyndelsen af 1950, og Groningen blev det første sted uden for USA, hvor man søgte at etablere et kulstof 14 -dateringslaboratorium.

Etableringen af kulstof 14 -laboratoriet i Groningen

Opbygningen af kulstof 14 -udstyret i Groningen fandt sted på det fysiske institut, Natuurkundig Laboratorium, ved universitetet. Dette var en stor fordel for projektet, idet flere af de komponenter, der skulle bruges til udstyret, allerede var til rådighed her. Tillige fik de Vries støtte fra sin fysikkollega H. de Waard, der opbyggede den nødvendige elektronik. Udgifterne til de komponenter, som de Vries ikke rådede over, var van Giffen i stand til at afholde af sit instituts beskedne annuum. Det skulle derfor have være muligt at få kulstof 14 -udstyret til at fungere inden for en begrænset tid, såfremt man kopierede Libbys apparatur. Men det var ikke de Vries' hensigt, han ville forbedre det. De Vries havde indset, at det måtte være muligt at forbedre effektiviteten af det tælleudstyr, som Libby anvendte, såfremt man anvendte gasprøver ved radioaktivitetsmålingen og ikke som Libby faste prøver af rent kulstof.

Kulstof 14 -isotopen henfalder under udsendelse af en energisvag elektron, hvis rækkevidde er meget begrænset i faste stoffer. Ved anvendelse af faste tælleprøver vil man derfor kun registrere elektroner, der udsendes fra de yderste lag af prøven, mens elektroner frigjort fra de dybere liggende lag vil blive bremset og ikke nå frem til måleudstyrets registrering. Denne begrænsning kunne overvindes, såfremt prøven bestod af en gas. Det simpleste ville være at lade gassen være

kuldioxid, hvilket imidlertid ville stille meget store krav til gassens renhed. Den største ulempe ved brugen af kuldioxid er, at målingerne bliver meget følsomme over for tilstedeværelsen af forureninger, der let kan danne negative ioner. Hertil hører forbindelser af svovl eller klor. Libby anså det ikke for muligt at anvende kuldioxid som tællegas på grund af dette renhedskrav.

De Vries havde tidligt indset, at der var mindst tre ulemper ved Libbys metode. Fremstillingen af det rene kulstof ud fra en arkæologisk prøve var tidskrævende og nødvendiggjorde tillige, at tællesystemet skulle åbnes for hver prøve. Desuden var effektiviteten af den anvendte geigertæller meget begrænset (kun 5%). I løbet af 1954 blev det klart, at Libbys metode havde en endnu større svaghed end de her nævnte. Anvendelsen af faste tælleprøver bevirkede, at prøven af rent kulstof kom i forbindelse med luften i laboratoriet, inden den blev anbragt i radioaktivitetstælleren. Denne kontakt blev fatal for metodens fremtidige brug.

Som medarbejder ved kulstof 14 -projektet havde de Vries en ph.d.-studerende, G. W. Barendsen, og i september 1952 offentliggjorde de sammen den skelsættende korte meddelelse med titlen »A new technique for measurements of radiocarbon« (De Vries og Barendsen 1952). Året efter blev denne meddelelse fulgt op af en uddybende artikel om anvendelsen af kuldioxid til gastælling. Hvad alle inden for kulstof 14 -datering havde anset for umuligt, var nu en realitet. De Vries havde udviklet en metode, der hurtigt og sikkert kunne fjerne de uønskede urenheder fra kuldioxiden. Mange var dog fortsat skeptiske, og så sent som i 1955 anså Libby det for sandsynligt, at de Vries' metode aldrig kom til at fungere. Heri tog han ganske fejl.

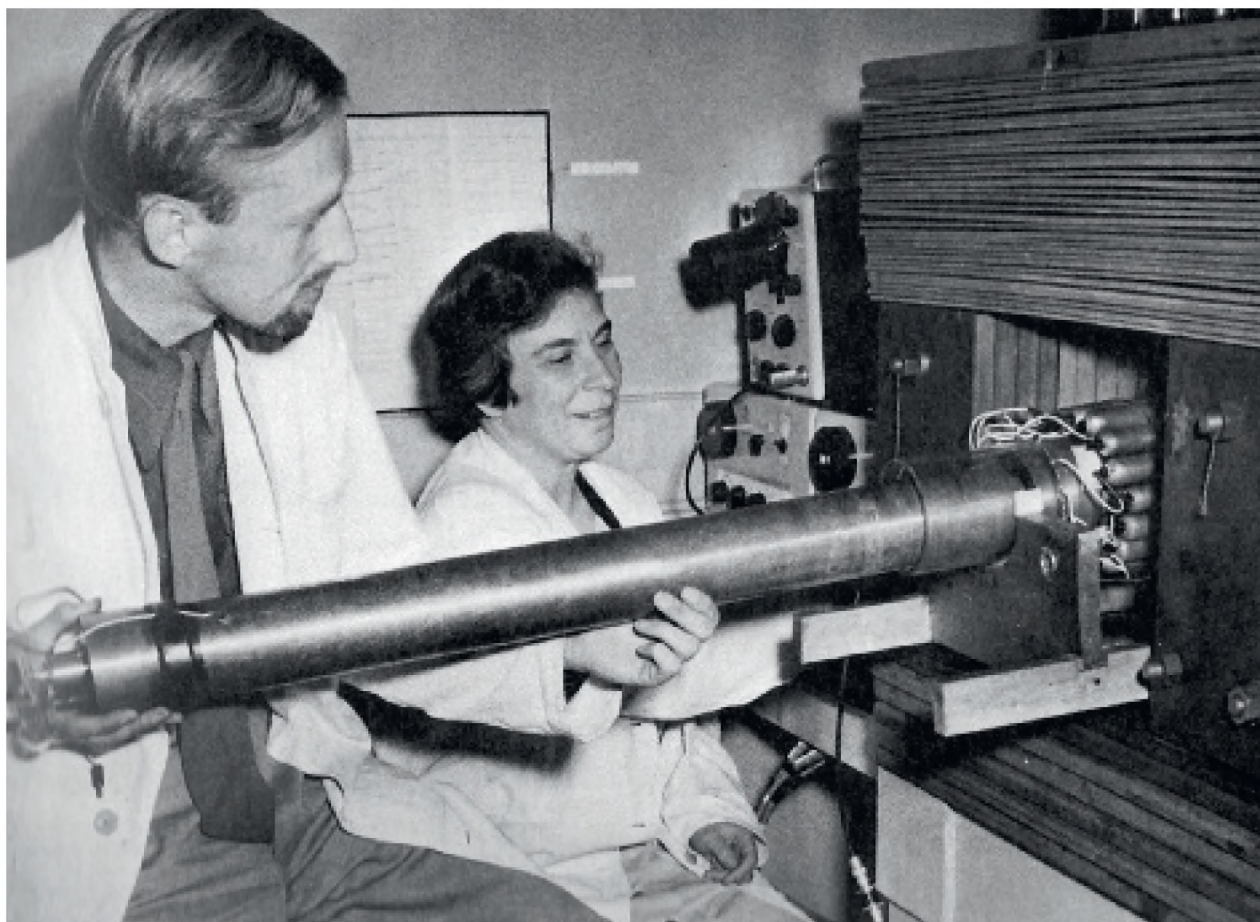
Etableringen af kulstof 14 -laboratoriet i København

Hurtigt efter kollokviet den 13/2 1951 etablerede arkæologerne og geologerne en kulstof 14 -komite bestående af tre medlemmer fra Nationalmuseet og to fra Danmarks Geologiske Undersøgelser, heriblandt Helge Larsen og Johannes Iversen. Hilde Levi blev tilknyttet komiteen som fysisk ekspert, men ikke som medlem. Komiteen havde til formål at få laboratoriet etableret samt at forestå udvælgelsen af de prøver, der skulle dateres. Det var fra begyndelsen klart, at komiteen sigtede imod at opbygge et brugerdrevet, men også brugerstyret laboratorium (Andersen 2007). As-



FIGUR 2. Fysikeren Hessel de Vries fra Universitetet i Groningen, som videreudviklede Libbys oprindelige kulstof 14 -dateringsmetode.

FIGUR 3. De to centrale personer ved det første danske kulstof 14 -laboratorium, Hilde Levi og Henrik Tauber, hvor sidstnævnte ses anbringe tælleudstyret for faste prøver i en jernafskærmning.



sistance fra fysikere og kemikere skønnedes at være nødvendig i etableringsfasen, men derefter skulle en arkæolog overtage arbejdet i laboratoriet. Der var således ikke planlagt et tværvideenskabeligt samarbejde fra starten, men det blev nødvendigt senere hen, idet kulstof 14 -metoden frembød problemer, hvis løsning krævede et indgående kendskab til fysik og kemi.

Komiteen søgte Carlsbergfondet om økonomisk støtte til at opbygge dateringsudstyr samt midler til at drive laboratoriet det første år. Fondet var positiv over for ansøgningen, og fra oktober 1951 kunne komiteen ansætte kemiingeniør Henrik Tauber til at varetage opbygningen og driften af laboratoriet i indkøringsfasen (figur 3). Laboratoriet fik hjemsted i kælderen på Zoofysiologisk Institut, hvor man dog ikke rådede over de tekniske eller værkstedsmæssige faciliteter, som ville være nødvendige, hvis man ville søge at forbedre og videreudvikle dateringsmetoden. Det anså kulstof 14 -komiteen heller ikke for nødvendigt. Forskningsstrategien var at satse på få, men nøjagtige dateringer, hvorfor det heller ikke var nødvendigt med mere end ét tælleudstyr. Man ville dog undersøge, om kulstof 14 -metoden var afhængig af, hvilken type kulstofholdigt materiale prøven bestod af.

Dette forskningsinitiativ blev anset for nødven-

digt, idet Libbys første dateringer af prøver af ukendt alder, der var blevet publiceret i begyndelsen af februar 1951, omfattede tre prøver fra Danmark. I Store Åmose på Sjælland havde forskere fra Nationalmuseet og Danmarks Geologiske Undersøgelser udtaget prøver af forskelligt materiale (kogler, trækul og hasselnødder), som man havde dateret relativt ved brug af pollenanalyse. To af prøverne var fra samme fundsted og derfor af samme alder. Trods dette daterede Libby de to prøver til at være forskellige i alder med en forskel på ikke mindre end 1300 år. Skyldtes dette mon, at dateringsmetoden var afhængig af materialevalget? Skulle prøverne helst være af trækul, så man var sikker på, at der ikke kunne være sket en udveksling af kulstof 14 -atomer i prøven med kulstof 12 - eller kulstof 13 -atomer fra de fugtige omgivelser i mosen, eller var Libbys dateringer ikke så nøjagtige?

Opbygningen af kulstof 14 -laboratoriet i København blev baseret på en kopiering af udstyret fra Libbys laboratorium. Det var derfor af stor betydning, at Hilde Levi kunne fremskaffe alle konstruktionstegningerne fra Chicago, men også at hun formåede E. C. Anderson, Libbys tidligere ph.d.-studerende, til at komme til København i seks måneder og bistå ved opbygningen. Han medbragte vigtige dele til udstyret

og blev en god støtte for Henrik Tauber, der herved fik mulighed for hurtigt at lære metoden at kende. Hilde Levi deltog ikke i opbygningsarbejdet eller i de senere målinger i laboratoriet, men hun påtog sig ledelsesmæssige funktioner. Laboratoriet blev indviet den 1/II 1951, kort før E.C. Anderson kom til København. Langt hurtigere end forventet blev laboratoriet opbygget, udstyret afprøvet og indkørt, så man allerede i maj 1952 var klar til at foretage den første datering på ukendt materiale.

De første dateringer i København og Groningen

Den første datering i København blev også den første, der blev publiceret fra et europæisk laboratorium. Den vedrørte fastlæggelsen af et geologisk fikspunkt inden for de første 3000 år efter sidste istid. Inden for dette tidsrum havde der været tre kolde perioder med tundralignende forhold, kaldet Dryasperioderne, adskilt af to varmere perioder kaldet Bølling- og Allerødperioderne, hvor skoven havde vundet indpas. Grænsen mellem den varmere Allerødtid og den langt koldere yngre Dryasperiode er den skarpeste i hele vor klimahistorie med et fald i gennemsnitstemperaturen på fire grader celsius i løbet af 100 år. En nøjere fastlæggelse af dette tidspunkt stod øverst på geologernes ønskeseddel. De havde allerede en klar opfattelse af, hvornår Allerødtiden var sluttet ud fra den svenske varvkronologi. I USA havde man ved kulstof 14-datering dog vist, at den amerikanske varvkronologi ikke var troværdig som dateringsmetode.

Kulstof 14-dateringen af den udtagne prøve fra en lergrav ved Ruds Vedby på Sjælland, som repræsenterede grænselaget mellem Allerødtid og yngre Dryas-tid, blev bestemt til 10.890 år med en usikkerhed på 240 år, hvilket var i fin overensstemmelse med den tid, som geologerne havde bestemt ved brug af den svenske varvkronologi (Tauber 1976, figur 4). Den første kulstof 14-datering viste også, at dateringen ikke var afhængig af, i hvilken form det kulstofholdige materiale havde været opbevaret igennem de næsten 11.000 år, som materialet havde ligget i jorden. Dette kunne tyde på, at nogle af Libbys tidlige dateringer kunne være forkerte - en konklusion, som de Vries også nåede frem til i Groningen på et lidt senere tidspunkt.

I Groningen blev dateringerne også startet i sommeren 1952. Første opgave var dateringen af træ fra en bygning, som van Giffen og medarbejdere havde udgravet under middelalderkirken Saint Walburg i Gro-



FIGUR 4. Kortet viser isfrontens positioner, ifølge den svenske varvkronologi, ved overgangene mellem de kolde Dryasperioder og de varmere Bølling- og Allerødperioder. Afslutningen på Allerødperioden var ifølge varvkronologien indtruffet ca. 8900 år f.Kr., hvilket var i fin overensstemmelse med kulstof 14-resultatet.

ningen. Også Libby foretog en datering af dette fund, men resultaterne fra Groningen og Chicago var meget afvigende. Trods gentagne dateringer i begge laboratorier fandt man ikke årsagen hertil. De Vries bestemte bygningens alder til være tæt på 1000 år, mens Libbys resultat var nær det dobbelte, hvilket ville betyde fra vor tidsregnings begyndelse. De Vries' resultat var i god overensstemmelse med arkæologernes opfattelse, og yderligere dateringer af træbygningen blev senere foretaget af kulstof 14-dateringslaboratorierne i Heidelberg og London. Resultaterne herfra var i god overensstemmelse med de ca. 1000 år, som de Vries havde fundet.

Mens den første danske datering blev publiceret i 1953, blev de første dateringer fra Groningen (De Vries og Barendsen 1954) først offentliggjort i slutningen af 1954. Resultaterne fra Groningen omfattede en række dateringer af arkæologisk og geologisk materiale, blandt de sidstnævnte var bestemmelser af, hvorledes højden af den hollandske kyst havde ændret sig gennem de sidste 8000 år. Holland oplevede i 1953 en oversvømmelseskatastrofe af et omfang, som ikke var set før. Det var derfor vigtigt at få kendskab til, hvorledes landsenkningen havde været i løbet af de sidste 8000 år for derigennem at kunne vurdere kravene til fremtidens diger. De Vries anså opgaven for en national pligt, og hans kulstof 14-målinger viste, at kysten var sunket ca. 15 meter igennem de sidste 8000 år, dog mindst de sidste 1000 år.

Libbys dateringsmetode spiller fallit i København

Perioden fra 1953 til slutningen af 1954 fremstår som en guldalderperiode for laboratoriet i København. Som det eneste laboratorium uden for USA havde man publiceret resultatet af en betydningsfuld datering, hvilket bidrog til, at forskere fra andre lande kom på besøg og søgte råd. Succesen fik Hilde Levi til at tage initiativ til det første europæiske kulstof 14-møde, der fandt sted i København i september 1954. Af indlæggene på mødet fremgik det, at fremtidens dateringer ville ske ved brug af gastælling. Det var dog begivenheder på den storpolitiske scene, der bevirkede, at overgangen til gastælling hurtigt blev forceret i mange laboratorier.

I oktober 1954 viste målinger i København, at de faste tælleprøver var blevet forurenede med radioaktivt materiale fra de russiske brintbombeforsøg. Selv om forureningen ikke var direkte truende for befolkningen, gjorde den det umuligt at anvende fastprøve-metoden til kulstof 14-datering, da monteringen af de faste kulstofprøver nødvendiggjorde, at kulstoffet kom i kontakt med luften i laboratoriet, der viste sig forurenet med radioaktivt støv. Et forsøg på at overvinde problemet ved at vente, indtil de første brintbombeforsøg var afsluttede, blev kun en stakket frist, idet russerne genoptog forsøgene i foråret 1955.

Det tog ikke lang tid for Henrik Tauber at nå frem til den konklusion, at man i København måtte udskifte Libbys metode med den teknik, som de Vries havde udviklet. Tauber fik etableret en nær kontakt til laboratoriet i Groningen, som ikke var plaget af problemer med luftforurening, idet gasprøverne ikke kom i kontakt med luften i laboratorierne. Hurtigt fulgte andre laboratorier efter, og de Vries' kuldioxidmetode blev også indført i mange laboratorier i USA. Mens man i København og andre steder måtte bruge tiden på at få ombygget dateringsudstyret, udviklede Groningen sig hurtigt til at blive det førende laboratorium for kulstof 14-datering i Europa. Hertil bidrog også den økonomiske støtte fra det hollandske forskningsråd for ren videnskabelig forskning ZWO, der muliggjorde opbygningen af dateringsudstyr i et antal og af en kvalitet, som man godt kunne have ønsket sig i København (Andersen 2007). Her var der også efter ombygningen af dateringsudstyret kun ét tællerapparat til rådighed, hvilket gjorde det yderst vanskeligt at bidrage til metodeudviklingen, da dateringerne fortsat havde første prioritet.

Groningens guldalder

Perioden fra 1955 til 1960 må anses for et højdepunkt for kulstof 14-laboratoriet i Groningen. De Vries var blevet grebet af udviklingsarbejdet med kulstof 14-metoden. Han anvendte mere og mere af sin tid på dateringsproblemer, selv om han i 1954 var blevet udnævnt til professor i biofysik. Specielt var han optaget af mulighederne for at studere de klimatiske forhold under den sidste istid, der begyndte for ca. 120.000 år siden og først ophørte for ca. 13.000 år siden. For at kunne datere så langt tilbage som muligt opbyggede de Vries et udstyr til isotopberigelse, hvilket gjorde det muligt at datere prøver, der var op til 70.000 år gamle. Danske geologer nød godt heraf, idet de Vries daterede de depoter af ferskvand, som var fundet ved Brørup i Sydvestjylland, til at være ca. 60.000 år gamle. Intet andet laboratorium kunne måle så langt tilbage i tiden, i København måtte grænsen sættes ved 40.000 år (Andersen 2007).

Et centralt emne for de Vries, men også i København, var fastlæggelsen af, hvornår den neolitiske tid var indtrådt i Europa, idet agerbruget blev etableret i den periode. Dateringerne i begge laboratorier viste, at agerbruget i store dele af Europa allerede var indført ca. 4000 år f.Kr., næsten 2000 år tidligere end hidtil antaget. Denne korrektion betød naturligvis meget for den hidtidige kronologi. Begivenhederne i stenalderen havde ikke været nær så komprimerede som antaget. Jættestuerne fremstod heller ikke længere som en efterligning af de ægyptiske pyramider, idet jættestuerne var blevet bygget flere hundrede år før disse.

De Vries' indsats inden for kulstof 14-datering nåede et højdepunkt i 1958, da han påviste, at Libbys grundantagelse om, at den kosmiske stråling havde været konstant gennem de sidste 100.000 år, ikke var rigtig (De Vries 1958). I USA havde fysikeren H. E. Suess allerede vist, at kulstof 14-indholdet i atmosfæren i det nordøstlige USA var aftaget med godt 3%, siden den industrielle revolution var startet i midten af det 19. århundrede; det var en følge af afbrændingen af fossilt brændstof (kul og olie), som ikke indeholder kulstof 14-isotopen. Til brug for sine forsøg havde Suess anvendt træ, der var indtil et par hundrede år gamle. Ved at udtage prøver fra forskellige årringe kunne han følge forløbet af kulstof 14-indholdet over hele den periode, som træet havde levet. De Vries anvendte også dendrokronologisk materiale til at undersøge indholdet af kulstof 14 i træ fra perioden 1550-1850. Målingerne viste, at der havde været variationer

i kulstof 14 -indholdet på 1-2 %, hvilket måtte nødvendiggøre korrektioner af dateringerne fra denne periode. Dette arbejde blev kort efter fulgt op af laboratoriet i København, som i samarbejde med laboratorierne i Cambridge og Heidelberg førte disse undersøgelser tilbage til 650 e.Kr. ved at anvende dendrokronologisk materiale fra et 1300 år gammelt sequoiatræ fra Californien, som det botaniske institut i Cambridge kunne stille til rådighed. Dette studium indvarslede en ny forskningsstrategi i København (Andersen 2007), idet man indstillede dateringerne i nogle måneder for at muliggøre Henrik Taubers deltagelse i det engelsk-tysk-danske fællesprojekt.

Resultaterne fra det fælleseuropæiske dateringsprojekt var i god overensstemmelse med de Vries' målinger og viste, at kulstof 14 -metoden var på usikker grund, hvis man ikke kunne få etableret korrektionstabeller over kulstof 14 -indholdet i atmosfæren tilbage i tiden. Her tilsmilede heldet kulstof 14 -forskerne, idet man i 1954 i grænseegnene mellem staterne Nevada og Californien havde fundet levende træer af typen børstekoglefyr, der var op til 4500 år gamle. Ved at kombinere disse fund med træ fra endnu ældre, men ikke længere levende træer fik man materiale til en systematisk undersøgelse af kulstof 14 -indholdet i atmosfæren tilbage til ca. 7000 år f.Kr. Midt i 1960'erne kunne der opstilles korrektionstabeller for denne tidsperiode, og kulstof 14 -dateringsmetoden kunne nu baseres på den meget nøjagtige dendrokronologiske teknik, hvor man kan tælle sig frem til et træs alder ved at tælle årringene.

Perioden efter 1960

Det store dateringsarbejde ved hjælp af de gamle amerikanske træer blev udført som et samarbejde mellem flere amerikanske laboratorier. København havde ikke apparaturkapacitet til at gå ind i dette arbejde, og i Groningen stod man pludselig ved udgangen af 1959 over for et helt uventet problem, da de Vries tog sit eget liv. Overvindelsen af dette tab tog tid, og i mellemtiden var der andre laboratorier i Europa og USA, der kom i front. Med etableringen af en på dendrokronologi bygget kulstof 14 -metode var udviklingen af denne dateringsmetode nået til et foreløbigt slut-

punkt. Efterfølgende forskning gjorde metoden anvendelig inden for områder, det ikke hidtil havde været mulige at inddrage, men en radikal ændring skete først sidst i 1970'erne, hvor fysikere i USA påviste, at man kunne datere langt mindre prøvemængder end hidtil og langt hurtigere, såfremt man anvendte acceleratorbaseret massespektroskopi (AMS).

I Holland og Danmark fulgte man trop, og i begge lande er der i dag etablerede kulstof 14 -laboratorier baseret på AMS. I Holland befinder laboratoriet sig fortsat i Groningen, mens det danske har hjemsted i Aarhus.

Konklusion

I forbindelse med etableringen og videreudviklingen af kulstof 14 -metoden bidrog forskningen i Groningen med meget spektakulære resultater, der afgørende bidrog til, at metoden hurtigt blev en stor succes og spredte sig til alle kontinenter. I Holland havde man sat sig som mål at forbedre metoden og tidligt udstrække dens brug så meget som muligt, samt til at underkaste de antagelser, som metoden var bygget på, en detaljeret undersøgelse. Den hollandske succes skyldtes især én person, Hessel de Vries, og den af ham lagte strategi, men han havde også god støtte fra sit faglige bagland, fra brugerne og fra det hollandske forskningsråd.

I Danmark udnyttede man ikke de muligheder, man i slutningen af 1940'erne havde for at bidrage forskningsmæssigt til kulstof 14 -metodens videreudvikling. Dette må især tilskrives den kendsgerning, at man så sig nødsaget til at etablere en brugerbaseret ledelse, som også opstillede en kortsigtet forskningsstrategi. Man manglede de erfarne fysikere og kemikere, der tidligt kunne have bidraget til metodens udvikling, hvorfor man satsede på Libbys teknik til at opnå relativt få, men sikre dateringer, som brugerne ønskede det. Først sidst i 1950'erne ændrede man strategi og ydede en forskningsindsats, der var medvirkende til igangsætningen af det store arbejde, der forankrede kulstof 14 -metoden på et sikkert dendrokronologisk grundlag. Med støtte fra det danske forskningsråd blev denne forskningsindsats videreført i de efterfølgende år.

Litteratur

- Andersen 2007: Torkild Andersen: *Datering af Fortiden. Om det første danske kulstof 14-laboratorium*. Aarhus Universitetsforlag.
- Arnold og Libby 1949: J. R. Arnold and W. F. Libby: »Radiocarbon Dates«, i: *Science* 113, s. 111ff.
- De Vries 1958: H. de Vries: »Variations in concentration of radiocarbon with time and location on earth«, i: *Koninkl. Ned. Akad. Wetensch. Proc. B 61*, s. 94ff.
- De Vries og Barendsen 1952: H. de Vries and G. W. Barendsen: »A new technique for the measurements of age by radiocarbon«, i: *Physica* 18, s. 652ff.
- De Vries og Barendsen 1954: H. de Vries and G. W. Barendsen: »Measurements of Age by the Carbon-14 Technique«, i: *Nature* 174, s. 1138ff.
- Levi 1976: Hilde Levi: »25 år med kulstof 14-datering«, i: *Naturens Verden* 12, s. 409ff.
- Libby 1952: W. F. Libby: *Radiocarbon Dating*. University of Chicago Press, Chicago.
- Tauber 1976: Henrik Tauber: »Kulstof 14-metoden – resultater og udvikling«, i: *Naturens Verden* 12, s. 415ff.
- Waterbolk 1983: H. Tjalling Waterbolk: »C-14 and Archaeology«, i: *PACT (Journal of European Study Group on Physical, Chemical, Mathematical and Biological Techniques Applied to Archaeology)* 8, s. 17ff.
- Waterbolk 1998: H. Tjalling Waterbolk: »Conférence de Cloture: Archaeology and Radiocarbon Dating 1948-1998: A golden Alliance«, i: *Actes du colloque 'C-14 Archéologie'*, s. 11ff.