

Findes Bølling i Bølling Sø?

- nye undersøgelser af en klassisk lokalitet

Af geologerne Ole Bennike, GEUS og Kaarina Sarmaja-Korjonen, Helsinki Universitet

Danmark har været et foregangsland indenfor kvartærgeologi. Den første oversigt – globalt set – over skovens udvikling efter sidste istid blev således publiceret af naturforskeren Japetus Stenstrup allerede i 1842. Den første påvisning af en varmeperiode under overgangen fra sidste istid til den nuværende mellemistid, i sen-glaciertiden, skyldes Hartz og Milters, efter arbejde i lergrave syd for Allerød i Nordsjælland for godt 100 år siden.

I 1942 påviste Johs. Iversen en ældre varmeperiode i den udtørrede Bølling Sø i det centrale Jylland. Både Allerød og Bølling perioderne er siden indgået i den internationale geologiske terminologi. De tidlige undersøgelser blev gennemført inden kulstof-14 dateringsmetoden var udviklet, og den absolutte alder af disse varmeperiode kunne derfor ikke fastslås. Men Iversen mente ud fra sine pollenanalyser, at Bølling perioden var ældre end Allerød perioden. Efter udviklingen af C-14 metoden blev det forsøgt at datere sekvensen i Bølling Sø, men dateringerne blev meget ældre end ventet.

Forskellige opfattelser af Bølling

I de senere årtier er der forsket intensivt i sen-glaciertidens miljø- og klimaforhold. Disse studier er blevet aktualiseret gennem de højst opsigtsvækkende resultater fra iskerneboringerne på Grønlands Indlandsis. Et af resultaterne er, at der i sen-glaciertiden, fra ca. 14.700 til ca. 11.500 år før nu forekom en række dramatiske klimaændringer.

Imidlertid er der opstået uenighed blandt forskere i Nordvesteuropa omkring alderen af Bølling varmeperioden. Blandt tyske kvartærgeologer er det foreslået, at Bølling perioden slet ikke findes i Bølling Sø. De mener, at Bølling perioden som defineret af Iversen, i virkeligheden svarer til den ældste del af Allerød perioden. Termen Bølling perioden anvendes derfor forskelligt af forskellige forskere. I Tyskland bruges den ofte for den ældste del af Allerød tiden, mens forskere fra andre lande anvender termen for den varmeperiode, som gik forud for Allerød



Feltarbejdet på den "udtørrede" Bølling Sø foregik på en regnvejrsdag i foråret 2001. (Foto: Ole Bennike)

tiden. Dette forhold har naturligvis givet anledning til megen forvirring.

Derfor besluttede vi at indsamle en serie nye borekerner fra Bølling Sø og datere sekvensen ved accelerator-masse-spektrometri (AMS) C-14 datering. Denne metode blev introduceret for ca. 20 år siden, og omkring 1990 begyndte Fysisk Institut ved Aarhus Universitet at datere prøver ved denne teknik. Det er muligt at datere langt mindre prøver ved AMS metoden end ved den konventionelle C-14 metode. Man kan således datere enkelte blade eller frugter.

Dateringer

For at finde materiale til datering vådsigtede vi en lang række prøver. Det viste sig, at den ældste del af sekvensen er rig på små kulstykke. De tidligere dateringer var baseret på prøver af sediment, som altså indeholdt prækvartært kulstof. Det er derfor ikke mærkeligt, at disse dateringer blev for gamle.

I alt fik vi dateret 19 prøver fra Bølling Sø-sekvensen. Fra den nederste del af sekvensen, som er rig på blade af rypelyng (Dryas) og polarpil, fik vi dateret 6 prøver. De fire nederste prøver blev dateret til omkring 12.500 kulstof-14-år før nu, mens de to yngre prøver gav aldre på omkring 12.200 kulstof-14-år før nu. Da Allerød perioden er

dateret til mellem 11.000 og 12.000 kulstof-14 år før nu, er det helt klart, at den ældste del af sekvensen i Bølling Sø er ældre end Allerød perioden. Det forhold, at dateringerne fra dette interval er næsten ens, kunne tyde på, at sedimentationsraten har været høj, hvilket de sandede og siltede sedimenter også tyder på. Imidlertid ser det også ud til, at kulstof-14-alderen for perioden mellem 14.500 og 15.500 kalender år før nu kun ændres fra 12.700 til 12.400 år før nu. Dette hænger sammen med, at atmosfærens indhold af kulstof-14 har ændret sig.

Det er derfor ikke til præcist til at vide, hvad en kulstof-14-datering på 12.500 år svarer til i kalenderår. En række dateringer på 12.500 år kan således godt svare til et længere tidsrum.

Desværre svarer kulstof-14-år altså ikke til kalenderår, men vi foreslår, at plantelivet ved Bølling Sø oplevede en opblomstring i forbindelse med den voldsomme temperaturstigning, som er registreret i iskernerne ved ca. 14.700 år før nu. Dette modsiges i al fald ikke af dateringerne.

Ser vi dernæst på dateringerne fra den yngre del af Bølling Sø-sekvensen, viser de en meget stor spredning, og mange af dem er betydeligt ældre end forventet. Denne del af sekvensen er langt mere fattig på blade,

som er det mest velegnede materiale til datering. Derfor har vi måttet anvende mere robuste planterester. Vi foreslår, at de prøver, som er daterede til at være ældre end forventet, består af omløjeede plantedele. I denne forbindelse må det påpeges, at Bølling Sø i senglacial tid var en stor, lavvandet sø. I virkeligheden er søen derfor ikke særligt velegnet til palæoøkologiske analyser. For at nå frem til en aldersdybde-model har vi derfor dels anvendt grænser, som er defineret pollenanalytisk. Dels har vi som nævnt antaget, at afsætningen af sedimenter med planterester begyndte samtidigt med den drastiske temperaturstigning, som er registreret i de grønlandske iskerner for omkring 14.700 år siden. Desuden går vi ud fra, at der ikke er større hiati i lagfølgen. Det må dog understreges, at vi fortsat kun har en grov idé om alderen.

Klimaudvikling

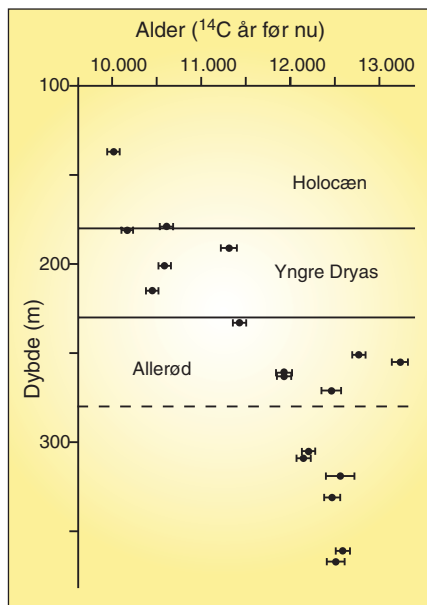
Som nævnt i indledningen påviste Iversen en ældre varmeperiode. Der var to argumenter for dette. Dels påviste Iversen et lag af lerholdig diatomégytje eller mere eller mindre sandet diatomégytje, som var under- og overlejret af mere lerede og sandede sedimenter. Iversen undersøgte lagets sammensætning og fandt, at ca. halvdelen af laget udgjordes af kiselalger. Han foreslog, at laget blev aflejret under en periode, hvor jorden omkring søen var dækket af en sammenhængende vegetation. Vegetationen førte til nedsat erosion.

Det andet argument var, at Iversen fandt et maksimum af birkepollen, hvoraf de fleste tilhørte træbirk – ikke dværgbirk. I senere undersøgelser påviste Iversen desuden et maksimum af havtorn, som er en relativt varmekrævende busk, og der blev også fundet frugter af langbladet vandaks, som er en forholdsvis varmekrævende vandplante.

Iversen adskilte pollen af træbirk fra pollen af dværgbirk ud fra deres størrelse. Der er imidlertid en glidende overgang fra pollen af træbirk til pollen af dværgbirk, og Iversen skrev desværre ikke noget om, hvor han satte grænsen. Senere målinger af den tyske pollenanalytiker Usinger har vist, at hovedparten af pollen-kornene stammer fra dværgbirk, og den samme konklusion nåede Svend Thorkild Andersen fra DGU frem til. Det skal også fremhæves, at der ikke er fundet makroskopiske rester, såsom blade eller frugter, af træbirk. Ja, faktisk ser det ud til, at også dværgbirk er en relativt sen indvandrer til egnen ved Bølling Sø.

Med hensyn til Iversens lag af diatomégytje, er dette heller ikke blevet påvist senere. Vi har gennemført analyser af biogent silica, som giver et mål for sedimentets indhold af kiselkaller. Indholdet af biogent silica er meget lavt i den nederste del af sekvensen, før 14.000 år før nu.

Det er ejendommeligt, at Iversens lag af diatomégytje ikke er genfundet. Vi ved ganske vist ikke præcist, hvor Iversen borede, men vores borested skulle nogenlunde svare



Kulstof-14 dateringer fra Bølling Sø plottet mod dybde. (Grafik: Ole Bennike)

til Iversens lokalitet, ifølge information fra Harald Krog, som deltog i feltarbejdet efter anden verdenskrig. Iversen borede første gang i 1936, og de næste mange år vendte han gentagne gange tilbage til Bølling Sø. Da bassinet er meget stort, kræver det en stor indsats, hvis man skal gennemføre en egentlig kortlægning.

Vi konkluderer, at tiden før 14.000 år før nu var præget af åben, ustabil jordbund. Vegetationen domineres af arktiske urter og dværgbuskene rypelyng og polarpil. Den lille top af pollen fra havtorn viser dog, at klimaet var forholdsvis mildt. Hen imod slutningen af perioden indvandrede dværgbirk til egnen nær søen. Der blev skyllet store mængder sand og ler ud i søen, hvilket hæmmede livet i vandet.

Polarpil er en ganske lille busk. Det er en af de vedplanter, som kan klare sig med mindst sommervarme, og den er for eksempel almindelig på Svalbard. Her er den i øvrigt et vigtigt fødeemne for rensdyr, som også levede i Danmark på denne tid. Polarpil er en udpræget pionérplante, som kan vokse i ustabil jord.

Mellem ca. 14.000 og 12.700 år før nu blev der afsat leret gytje i søen. Indholdet af biogent silica og koncentrationen af cladocerer (dafnier og andre små krebsdyr) steg betydeligt. På land gik dværgbirk stærkt frem. Ved slutningen af perioden begyndte revling at brede sig, hvilket kunne tyde på, at udvaskning af kalk førte til sur jordbund. I det sydlige og østlige Danmark var træbirk almindelig under denne periode, men mod nordvest dominerede dværgbirk.

Mellem 12.700 og 11.500 år før nu (svarende til Yngre Dryas) findes vekslende lag af gytje, ler og sand. Rypelyng og polarpil vendte tilbage, og dværgpil var også almindelig. Dværgbirk var fortsat almindelig nær søen. I søen var det ejendommelige krebs-

NYHED!

Geologisk set

Det sydlige Jylland

En beskrivelse af områder af national geologisk interesse

English version
Deutsche Zusammenfassung

Miljøministeriet • Skov- og Naturstyrelsen

Geologisk set

Det sydlige Jylland

Forfattere: Peter Gravesen,
Peter Roll Jakobsen,
Merete Binderup og
Erik Skovbjerg Rasmussen,
alle Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse.

Nu er også lokaliteterne af national geologisk interesse i det sydlige Jylland beskrevet. Bogen indeholder en – ny – sammenstilling af den miocæne udvikling i Syd- og Midtjylland.

Et godt udgangspunkt for at opleve, studere, forstå og formidle de geologiske processer og naturområder.

188 sider, fuldt farveillustreret.
Pris 216 kr. eksklusiv moms og forsendelse.

Tidligere titler i serien kan alle stadig leveres:

Fyn og øerne - Kr. 180
Bornholm - Kr. 180
Det mellemste Jylland - Kr. 220
Det nordlige Jylland - Kr. 180
Alle priser er ex moms

Bestil og få vejledning: 6344 1683
 Webbutik: www.geografforlaget.dk
 Mail: go@geografforlaget.dk

dyr, damrokke, almindelig. Damrokke ligner en lille trilobit, og den lever især i lavvandede søer, som tørrer ud om sommeren. At Bølling Sø var lavvandet under denne periode ses også deraf, at små rødder af sumpplanter er almindelige.

For ca. 11.500 år siden ændrer sedimentet karakter til en organisk rig gytje, med et højt indhold af biogent silica, en høj koncentration af cladocerer og oosporer af kransnålalger. Der er også en top af tråd-vandaks i begyndelsen af Holocæn. Planter som træbirk, bævreasp og ene indvandrer. Revling breder sig igen, hvilket viser, at vegetationen fortsat var lys og åben.

Sammenligning med Nordatlanten

Hvis man ser på data fra GRIP-kernen fra toppen af Grønlands Indlandsis, er der flere træk, som falder i øjnene. Et påfaldende træk er, at varmen i Nordatlanten topper allerede i begyndelsen af senglacialtiden, i begyndelsen af Greenland Interstadial 1. Dette svarer også til forholdene i England. Ved Bølling Sø tyder den lille, men distinkte, havtorn forekomst også på relativt varme somre, måske med en middeltemperatur for årets varmeste måned på 11-12 °C. Plantedækket omkring søen var præget af ustabile jordbundsforhold og livet i søen af stor tilførsel af ler, silt og sand.

Efterhånden førte det stigende plantedække til mere stabile jordbundsforhold, og udvaskningen til søen tog af. Livet i søen blomstrede op. Forsuring af jordbunden førte til, at revling bredte sig. Middeltemperaturen for årets varmeste måned var formentlig omkring 10-11 °C. Under Yngre Dryas blev plantedækket igen mere åbent, og arktiske planter fik en renaissance. Middeltemperaturen for årets varmeste måned var formentlig på ca. 9 °C. Den lave vandstand tyder på, at perioden var præget af lav nedbør.

Ved overgang til Holocæn skete en drastisk temperaturstigning, som straks slog igennem i Bølling Sø.

Man får indtryk af, at klimaet var mere stabilt i Danmark end i Grønland under senglacial-tiden. Det kan måske forklares ved, at iltisotopkurven fra Grønland primært afspejler vintertemperaturer, mens plante- og dyrelivet i Danmark mest afspejler sommer-temperaturer.

Konklusion

Vi konkluderer, at der i Bølling Sø findes sedimenter, som er ældre end Allerød perioden. Derimod har vi hverken fundet spor efter en tidlig diatomégytje, eller en tidlig forekomst af træbirk. Den lille top af havtorn, og forekomsten af nogle vandplanter, tyder dog på relativt høje sommer-temperaturer.

Supplerende læsning:

Bennike, O., Sarmaja-Korjonen, K. & Seppänen, A. 2004: *Reinvestigation of the classic late-glacial Bølling Sø*



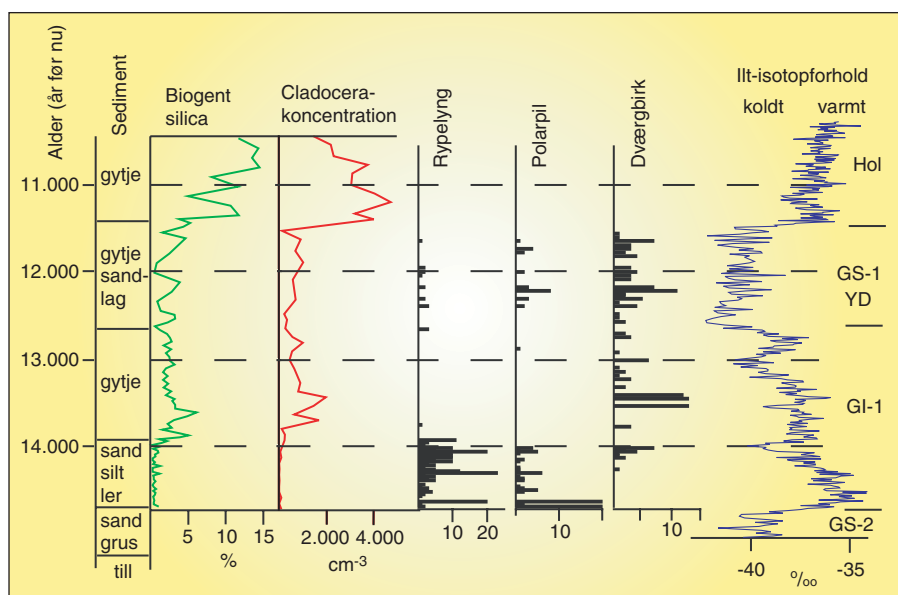
Vi samler kræfter til at presse boret ned. (Foto: Ole Bennike)

sequence, Denmark: chronology, macrofossils, Cladocera and chydorid ehippia. *Journal of Quaternary Science* 19, 465-478.

Coope, G.R., Lemdahl, G., Lowe, J.J., Walking, A. 1998. *Temperature gradients in northern Europe during the last glacial-Holocene transition (14-9 14C kyr BP) interpreted from coleopteran assemblages. Journal of Quaternary Science* 13: 419-433.

Iversen J. 1954. *The Late-Glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil. Danmarks Geologiske Undersøgelse II* 80: 87-119.

Klerk, P.d. 2004: *Confusing concepts in Lateglacial stratigraphy and geochronology: origin, consequences, conclusions (with special emphasis on the type locality Bøllingsø). Review of Palaeobotany and Palynology*, 129, 265-298.



Udvalgte data fra Bølling Sø. Indholdet af biogent silica og cladocerer giver et mål for søens produktion, mens koncentrationen af makroskopiske rester af rypeylng, polarpil og dværgbirk giver et indblik i vegetationen på land nær søen. Ilt-isotop forholdet i GRIP-kernen fra Grønland giver et mål for klimaudviklingen i Nordatlanten. GS-2 står for Greenland Stadial 2 (kuldeperiode), GI-1 står for Greenland Interstadial 1 (varmeperiode, der svarer til Bølling-Allerød), GS-1 står for Greenland Stadial 1, den svarer til Yngre Dryas (YD), og Hol står for Holocæn. GRIP-data fra glaciologigruppen ved Københavns Universitet. (Grafik: Ole Bennike)