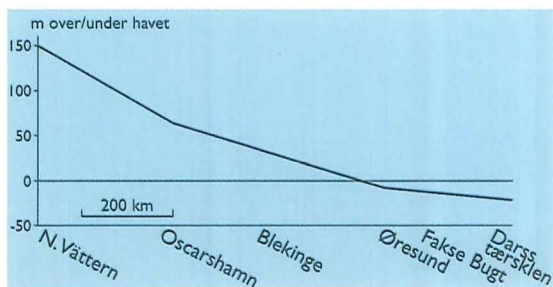


Den sen-kvartære udvikling i den sydvestlige del af Østersøen

Jørn Bo Jensen og Ole Bennike

I VARV 1994,3 redegjorde forfatterne for nye undersøgelser, der dokumenterede, at den Baltiske Issø (se også VARV 1989,2) strakte sig helt ind i Fakse Bugt. Undersøgelserne er siden fortsat mod syd, og i denne artikel skal nogle af de nye palæogeografiske resultater præsenteres.

I de senere år er der publiceret en hel række palæogeografiske kort, der dækker området mellem Danmark og Tyskland (bl.a. Houmark-Nielsen i VARV 1989,2). Det er dog først nu, der begynder at foreligge detaljerede data fra disse vigtige havområder. Mens man i Sverige og Finland kan studere aflejringer fra Østersøens ældste stadier i blotninger over det nuværende havniveau, ligger arkivet over Østersøens historie mod syd under havbunden (figur 1). Her anvender man derfor maringeologiske metoder til indsamling af oplysninger, som især er seismiske data og bore-



Figur 1. Diagram der viser, hvor højt man i dag finder aflejringer fra den Baltiske Issø. Ved nordenden af søen Vättern i Mellemsverige findes aflejringerne op til 150 meter over nuværende havniveau mens de i Blekinge, i Sydsverige er hævet ca. 35 meter. Ved tærsklen i Øresund findes ingen aflejringer, men tærsklen ligger i dag 7 meter under havet, og den Baltiske Issø havde sit udløb her. I Fakse Bugt findes aflejringer op til 13 meter under havniveau, og ved tærsklen mellem Falster og Darss findes aflejringer maksimalt 22-23 meter under havniveau.

kerner. Da der kræves relativt store skibe til at udføre sådanne undersøgelser, spiller økonomien en væsentlig rolle, og det primære formål med de undersøgelser, der skal gennemgås her, har da også været at kortlægge råstoffer i regionen. Arbejdet er finansieret af Skov- og Naturstyrelsen. I de senere år har Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) imidlertid haft et nært samarbejde med Institut for Østersøforskning i Warnemünde, og forfatterne har haft mulighed for at deltage i en række togter finansieret fra tysk side (figur 2). Til gengæld har GEUS bidraget med seismisk udstyr, med midler til dateringer, med analyser af de indsamlede sedimenter samt med tolkninger af data. I alt er der sejlet flere tusinde kilometer med henblik på indsamling af seismiske data, foretaget flere hundrede borer og omtrent 100 kulstof-14 dateringer.

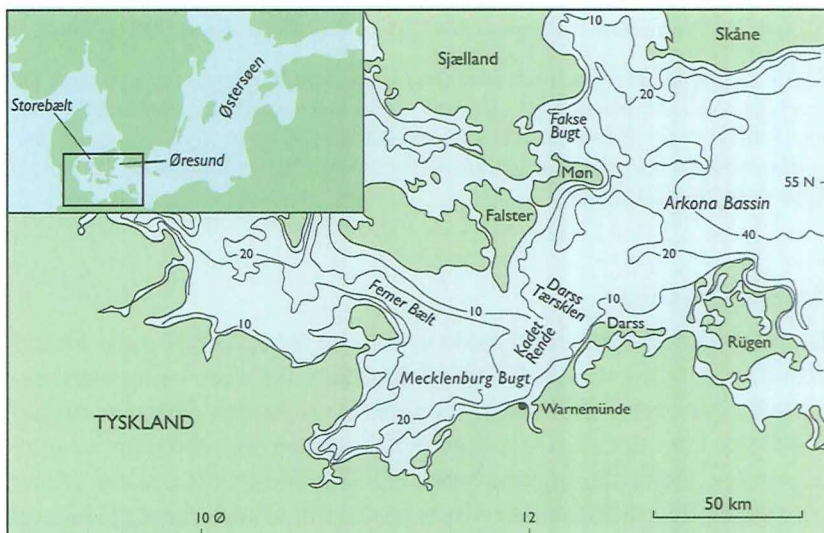
Under den sidste istid har området gentagne gange været dækket af det Fennoskandiske Isskjold. Hvornår isen smeltede tilbage sidste gang er usikkert, men den ældste kulstof-14 datering af landplanter er på 15.000 år før nu (kalibrerede kulstof-14 år, se boks), så på det tidspunkt var den



Figur 2. Det tyske forskningsskib A. v. Humboldt.

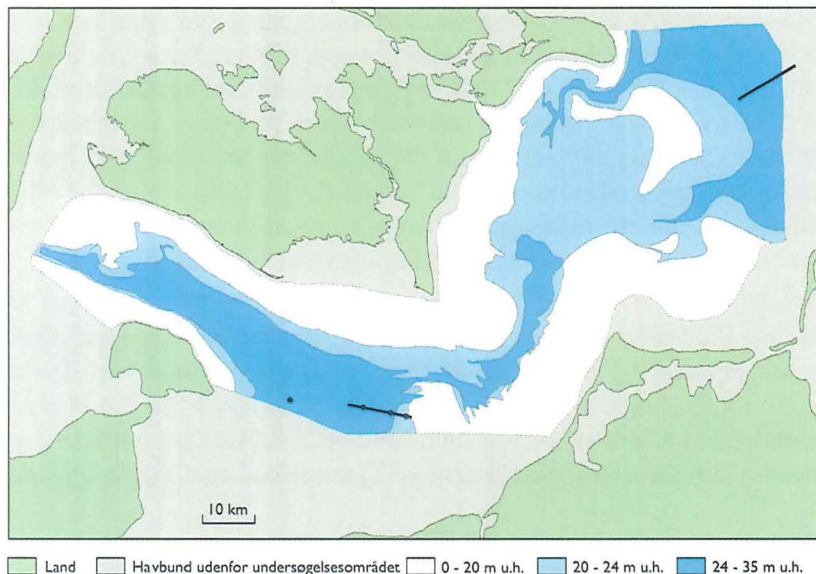
sidste is smeltet bort. Fra den polske del af Østersøen er der dateringer på op til 17.000 år, men disse dateringer er usikre, da de er baseret på prøver af sediment. Usikkerheden skyldes, at der i sedimentprøver fra Østersøen indgår små fragmenter af ældre organisk materiale som rav, kul og forkullet træ. I organisk stof er der intet tilbage af den radioaktive kulstof-14 isotop efter ca. 40.000 år fra materialets dannelses tidspunkt, så rav eller kul giver såkaldte non-finite aldre (se boks). Dateringer af sen- eller postglaciale sedimenter, der indeholder en blanding af 'gamlemelt' organisk materiale og 'ungt' organisk materiale, giver for høje aldre, og derfor må dateringer udført på hele sedimentprøver betragtes med stor skepsis, da der kan indgå organisk stof af forskellig alder.

Dybdeforholdene i det nye undersøgelsesområde (figur 3) præges af Arkona Bassinet med vanddybder op til 50 meter mod øst, og vanddybder op til 30 meter i Femer Bælt og Mecklenburg Bugt mod vest. Disse relativt dybe områder er adskilt af Darss Tærsklen, hvor den laveste vanddybde i dag er knapt 20 meter. Imidlertid findes der i området 3-4 meter tykke lag af marine sedimenter, så i sen-glacial og tidlig postglacial



Figur 3. Dybdeforholdene i den sydvestlige del af Østersøen. 10, 20 og 40 meters dybdekurver er angivet.

tid var tærskeldybden 23-24 meter, og tærsklen befandt sig nordøst for Gedser Rev (figur 4).

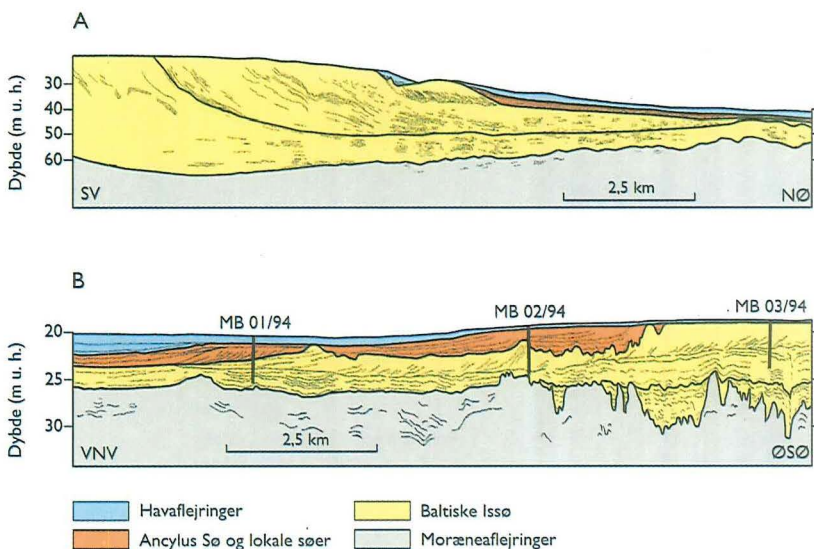


Figur 4. Den sen-glaciale overflademorfologi, som den tager sig ud i dag. De postglaciale sedimenter er 'fjernet'. Der har været to forbindelser til Østersøen øst for Darss Tærsklen, men den nordligste er den dybeste og har spillet den største rolle. Beliggenheden af de seismiske profiler og kerner på figur 5 og 6 er også vist.

Arkona Bassinet

Da arbejdet begyndte, forventede vi at finde tegn på kraftig erosion fra Østersøens tidligere udløb i tærskelområdet og store sedimentmægtigheder vest herfor. Stor var derfor vores overraskelse, da det tværtimod viste sig, at der findes meget store deltasystemer, der er bygget ud mod østnordøst. Deltaaflejringerne består af kalkholdigt sand, og de strækker sig over ca. 25 kilometer fra sydvest mod nordøst, med mægtigheder op til omkring 45 meter (figur 5). Den enorme mængde sand, disse deltaaflejringer rummer, må være tilført med en flod fra syd, der fulgte den

nuværende flod Warnow, der har udløb nær Warnemünde. Floden drænerede store dele af det tyske lavland, eller måske snarere det Fennoskandiske Isskjold, idet den løb langs sydranden af isskjoldet for derefter at fortsætte i de såkaldte tunneldale i Nordtyskland før udløbet i den sydvestlige del af Østersøen. Deltaaflejringerne ligger direkte oven på moræner afsat under sidste nedisning og kan deles i to enheder adskilt ved en diskordans. Fra den ældste enhed foreligger to dateringer på 15.000 og 14.300 år, mens den yngste del af den yngre enhed er dateret til godt 11.600 år. Ligesom i Fakse Bugt er aflejringerne fra den Baltiske Issø altså delt i to enheder. Ved randen af Arkona Bassinet findes aflejringer op til kote -20 meter. Centralt i bassinet blev der aflejret varvigt issø-ler. Aflejringerne fra den Baltiske Issø overlejres i bassinet af kystaflejringer, der blev afsat da kystlinien stod omkring 40 meter under det nuværende havniveau, så der er altså sket et drastisk fald i den relative vandstand på omkring 20 meter. Dette svarer nogenlunde til forholdene i de mere centrale dele af Østersøen, hvor der er registreret et fald i vandstanden på



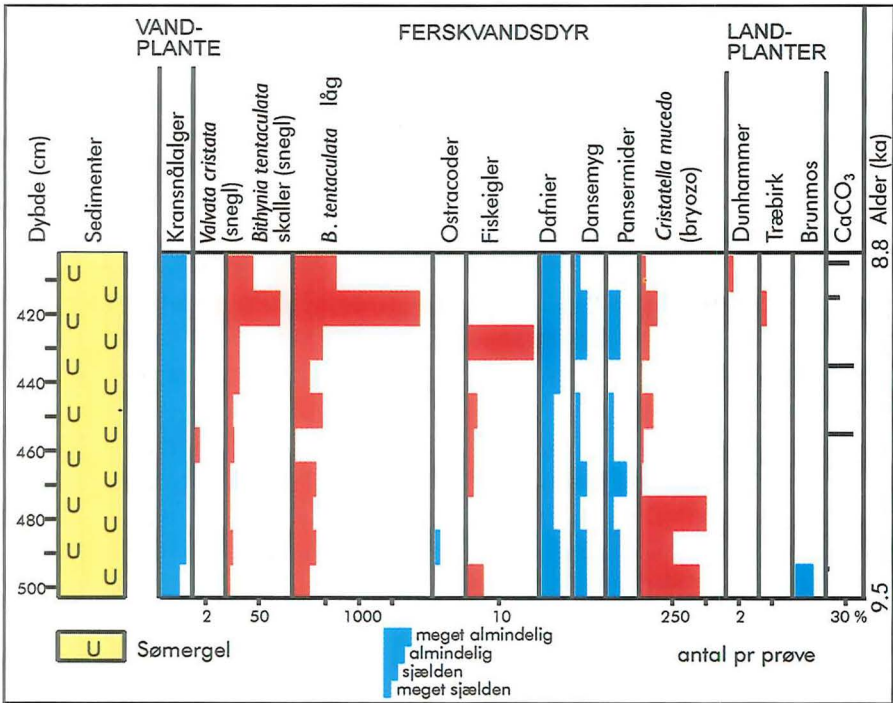
Figur 5. A: Tolket seismisk profil fra vestranden af Arkona Bassinet. Mod sydvest deltaaflejringer, centralt kystaflejringer og mod nordøst bassin-aflejringer. B: Tolket seismisk profil fra Mecklenburg Bugt.

Mecklenburg Bugt

Mecklenburg Bugt er et bassinområde vest for Darss Tærsklen. Også her kan de sen-glaciale sedimenter deles i to enheder adskilt af en tydelig diskordans. Der foreligger ingen dateringer af den ældre enhed i Mecklenburg Bugt, men dateringer af den yngre enhed har givet aldre på 12.600 til 12.200 år. I det meste af bassinet findes distale issøaflejringer af varvigt ler, men nordvest for Warnemünde findes sandede deltaaflejringer, hvor materialet må være transporteret med tyske floder fra syd, idet udbygningen er foregået mod vestnordvest (figur 5 og 6). Ligesom i Arkona Bassinet er disse aflejringer bygget op til omkring kote -20 meter.

De sen-glaciale aflejringer overlejres i bassinet af lag, der er rige på organisk materiale, samt sandet silt med rester af ferskvandsplanter og -dyr. Nordvest for Warnemünde, ved randen af bassinet, findes siltede deltasedimenter, der adskilles fra de sen-glaciale lag af en erosionsflade. De siltede sedimenter er dateret til omkring 10.800 år og indeholder mange skaller af ostracoder, muslinger og snegle, der lever i ferskvand, samt mere sjældne skaller af landsnegle, der må være skyllet ud med floderne fra landområdet mod syd. Disse sedimenter er aflejret ved en vandstand på omkring 23-24 meter under det nuværende havniveau, svarende til tærskelhøjden mellem Mecklenburg Bugt og Arkona Bassinet. I området findes yngre ferskvandssand, som er dateret til 10.400 år op til kote -19 meter. Dette sand er aflejret nær kysten.

I den centrale del af Mecklenburg Bugt Bassinet findes en glidende overgang til marin gytje med spredte skaller af muslinger og snegle, mens der på lavere vand findes en hiatus mellem ferskvandsaflejringerne og de marine aflejringer. De marine aflejringer findes stedvist som sandede fossile kystdannelser eller krumodder, og sandet er afsat i forbindelse med havets transgression af området. I Mecklenburg Bugt dateres transgressionen af en skal af en marin snegl (pelikanfodsnegl), der har givet en alder på 7.600 år. Der foreligger også to dateringer på landplanter fra brakvandsaflejringer, som blev afsat, da havet begyndte at trænge ind i området. Disse dateringer er begge på 8.500 år. Havaflejringerne bliver ofte grovere opefter, hvilket formentlig skal sættes i forbindelse med øgede strømhastigheder, efter at havet overskyllede Darss Tærsklen.



Figur 7. Makrofossil-diagram fra sømergel afsat i lokal sø i tærskelområdet mellem Falster og Darss. Som det ses, er der ingen rester af planter eller dyr der lever under brakke eller marine forhold. (ka = 1.000 år).

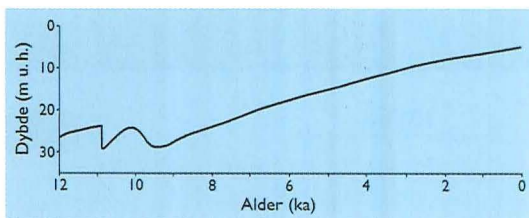
Centralt i tærskelområdet findes et lille lokalt bassin, der er udfyldt af sømergel. Mergelen indeholder kun ganske få makroskopiske rester af landplanter og kan derfor ikke dateres ved kulstof-14 metoden. De dateringer, der er vist i figur 7, stammer fra korrelation mellem pollenselskaber i mergelen og et dateret pollendiagram fra Langeland. Selvom de altså er noget usikre, viser de, at vandstanden i området var så lav, at en lokal sø kunne eksistere i tidsrummet omkring 9.500 til 8.800 år. Dette falder sammen med det tidsrum, hvor man har forestillet sig, at Ancylus Søen havde sit flodlignende udløb præcis der, hvor de nye undersøgelser viser, at der snarere lå en mindre sø. Det er også vigtigt at notere sig, at der ikke er ringeste tegn på marin indflydelse, da mergelen blev aflejret. De få arter af makrofossiler, der er fundet i merge-

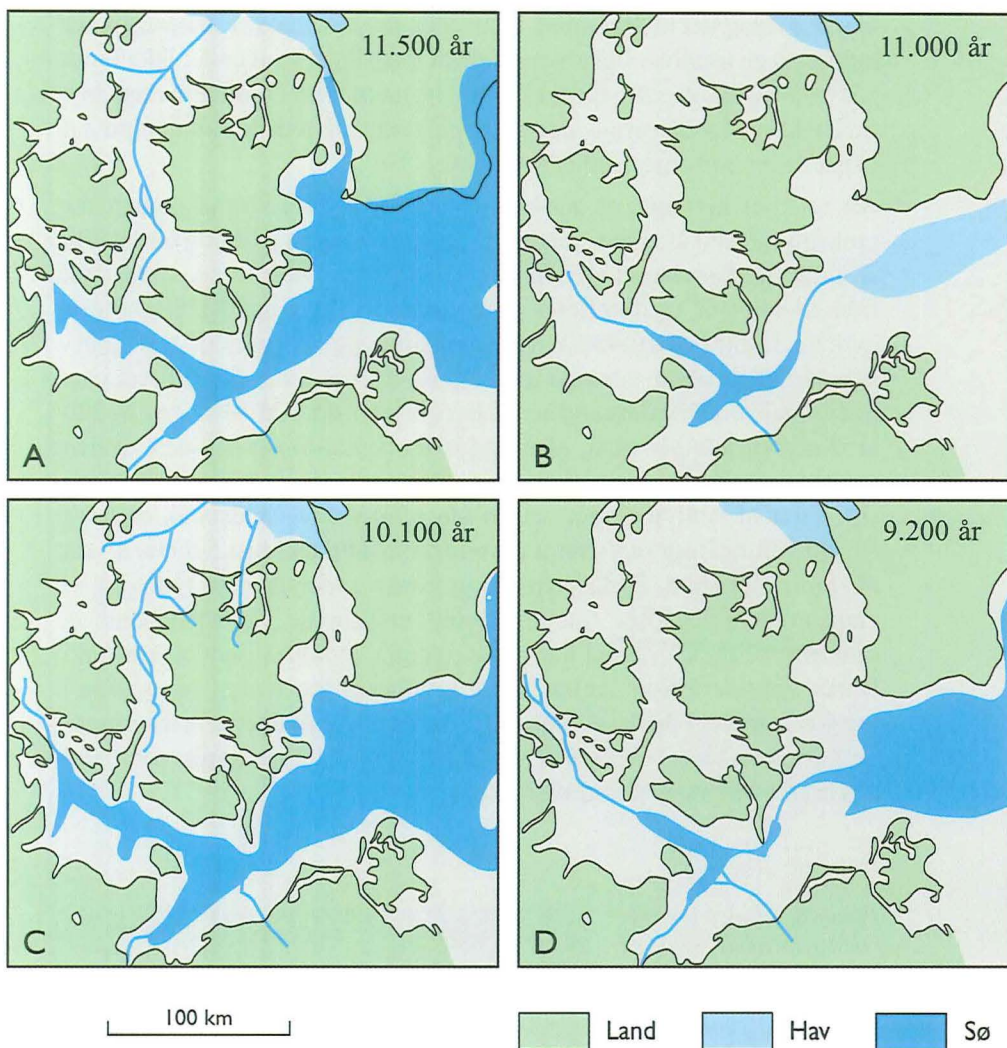
len, er alle knyttet til ferskvand. Udover de få typer makrofossiler rummer mergelen en usædvanligt artsrig flora af kiselalger, som heller ikke tyder på brakke endsige salte forhold. Dette synes at være i modstrid med data fra Blekinge i Sydsverige, der peger på, at der allerede kom saltvand ind i Østersøen omkring 1.000 år tidligere.

Alt i alt vil det sige, at der er indicier for et fald i vandstanden for omkring 11.600 år siden, stigende vandstand mellem 10.800 og 10.400 år, faldende vandstand igen mellem 10.400 og 9.800 år, lav vandstand frem til 8.800 år, og derefter stigning frem til i dag (figur 8). Stigningen mellem 10.800 og 10.400 år svarer tidsmæssigt til Ancyclus-transgressionen i Østersøens centrale dele, og de nyeste dateringer af Ancyclus Søens maksimale vandstand herfra har givet en alder på 10.400 til 10.300 år. Normalt antager man, at Ancyclus-transgressionen skyldes, at den nævnte forbindelse over Mellemsverige blev afbrudt, da landet her hævede sig. Efter at Ancyclus Søen nåede sin maksimale vandstand, er der i Mecklenburg Bugt registreret et vandstandsfald på højst 5 meter styret af Darss Tærsklen. Både svenske og finske undersøgelser tyder på, at vandstandsfaldet efter Ancyclus Søens maksimale vandstand androg omkring 10 meter, og det har været antaget, at faldet skyldes erosion i Darss Tærsklen. Som nævnt er der imidlertid ingen tegn på erosion i tærskelområdet i dette tidsrum, ligesom der ikke findes deltaaflejringer vest for tærsklen. På figur 9 er udviklingen i undersøgelsesområdet illustreret ved palæogeografiske kort.

Figur 8. Model for udviklingen af de relative vandspejlsændringer i Mecklenburg Bugt vest for Darss Tærsklen. Det relative vandspejl er steget godt 25 meter siden tidlig Holocæn,

men da verdenshavens vandspejl er steget ca. 50 meter inden for samme tidsrum, må den isostatisk hævning i området andrage ca. 25 meter. Bemærk, at der er registreret et fald i vandstand efter Ancyclus Søens maksimum på højst 5 meter.



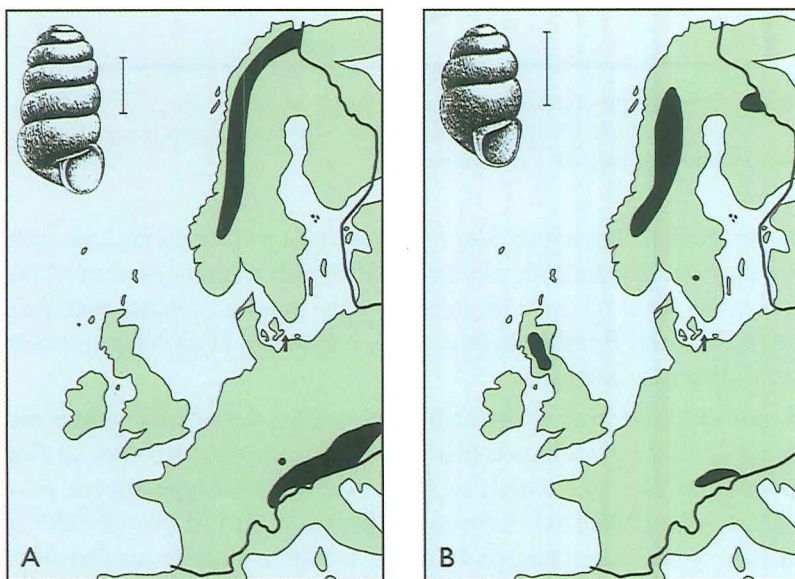


Figur 9. Fire faser i den palæogeografiske udvikling af Østersøen. Såvel den Baltiske Issø (A) som den efterfølgende Ancylus Sø (C og D) strakte sig meget længere mod vest under deres maksimale udbredelse end tidligere antaget (se f.eks. værket 'Danmarks Natur'). Havet syd for Skåne i B var næsten helt fersk, da der var lang vej via den snævre forbindelse gennem Sverige til det saltholdige Kattegat-vand.

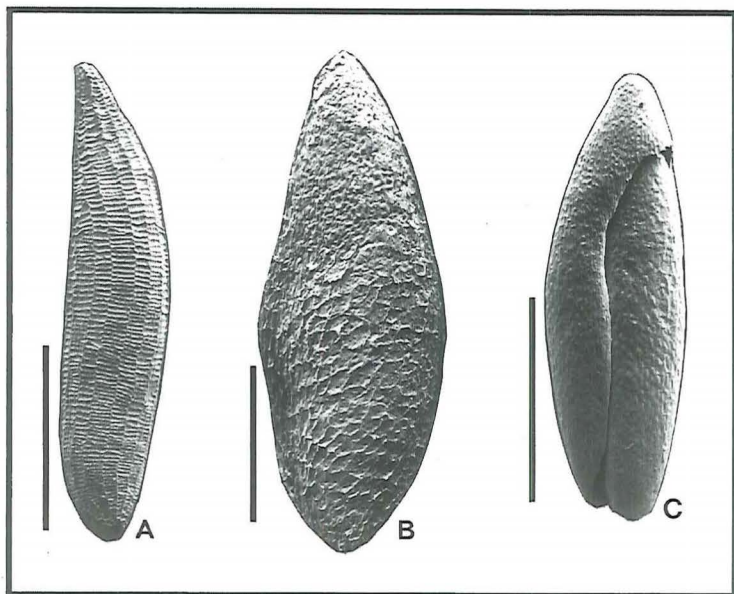
Lidt om flora og fauna

De sen-glaciale lag indeholder rester af forskellige planter, der ikke lever i regionen i dag. De fleste er velkendte fra tidligere undersøgelser i tilgrænsende landområder. Som eksempler på dværgbuske kan nævnes *Dryas*, dværgbirk, polarpil og bjergmelbærris. Der er tale om lyskrævende planter, der ikke kunne klare konkurrencen, da træerne indvandrede. Nogle af arterne skal man i dag til Lapland eller Alperne for at finde, mens andre, der tåler fugtig eller våd jord, har klaret sig i moser, hvor træerne ikke har kunnet skygge dem bort.

Også dyreriget er repræsenteret med et par arter, der ikke mere lever i regionen (figur 10). Det drejer sig om to arter landsnegle, der er fundet i lag fra Yngre Dryas (se VARV 1989,2) i en boring sydøst for Falster. Begge sneglearter lever på våde kalkrige lokaliteter, og deres forsvinden kunne måske skyldes, at de fysiologisk er tilpasset lave temperaturer.



Figur 10. Moderne udbredelse af to arter landsnegle, hvoraf der er fundet skaller i Yngre Dryas sedimenter syd for Falster (pilene). A: *Columella columella*, B: *Vertigo genesii*. Arternes udbredelse er kun kortlagt vest for den fede streg. Målestokkene svarer til 1 millimeter.



Figur 11. Scanning-elektron mikroskop-fotoer af fossile frø af A: *Najas minor*, B: stor najade (*Najas marina*) og C: liden najade (*Najas flexilis*). Målestokkene svarer til 1 millimeter.

De postglaciale lag indeholder meget artsrige floraer og faunaer. Arter der lever i ferskvand eller på våd bund dominerer, men rester af planter og dyr, der lever på mere tør bund, er også hyppige. Blandt træerne er birk og fyr helt fremherskende, mens bævreasp, el og hassel er mere sparsomt repræsenterede.

Blandt vandplanterne skal fremhæves najader, der er små planter med bølget-krusede, savtakkede blade. Håndbogen over den danske flora opregner to arter: stor najade og liden najade, men begge arter er uhyre sjældne, eller måske helt forsvundet fra Danmark. I de postglaciale lag fra den sydvestlige Østersø er frø af tre arter najader imidlertid ret almindelige (figur 11). Foruden de to nævnte arter drejer det sig om arten *Najas minor*, der ikke er fundet voksende i Danmark (figur 12 og 13). Arten har derfor ikke noget dansk navn. Pollenkorn af najader bevares ikke i geologiske aflejringer, så vil man lære om deres historie,

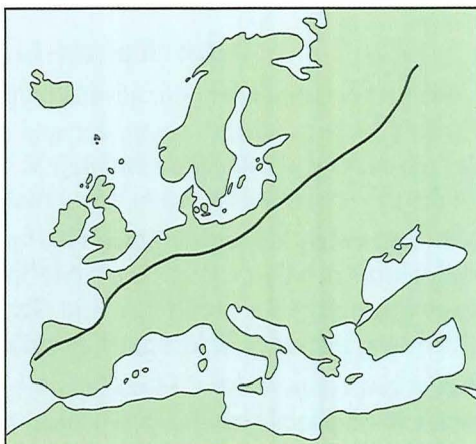
må man analysere prøvernes indhold af makroskopiske planterester såsom frø, frugter og blade.

Efter den moderne pollen-analyses fødsel i begyndelsen af dette århundrede er analyser af større planterester blevet nedprioriteret, men sådanne analyser kan være et godt supplement til pollenanalyser.

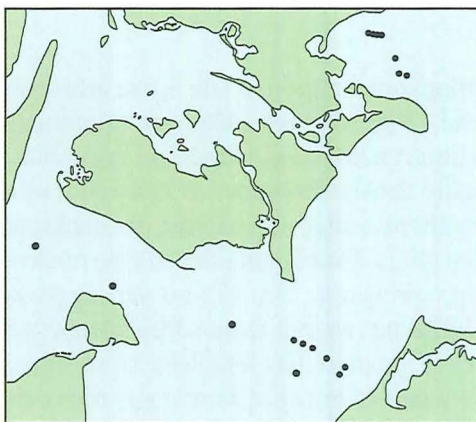
Nu og da kan man finde frø af planter, hvis pollen ikke bevares, således som najaderne illustrerer. Men makrofossiler har desuden den fordel, at de ofte kan bestemmes til art, mens pollen hyppigt kun kan bestemmes til slægt eller familie.

Det er ofte et problem, at pollen bliver spredt over store afstande, og at pollen-korn tåler omlejring. Her kan analyser af makrofossiler hjælpe til med at afgøre, om en planteart har vokset lokalt. Endelig bliver det mere og mere udbredt at anvende makroskopiske rester af planter til kulstof-14 dateringer.

Grunden til, at de tre arter najader var langt mere al-



Figur 12. Den nuværende nordgrænse for *Najas minor* i Europa.



Figur 13. Kort der viser fundsteder for frø af vandplanten *Najas minor* i tidlig postglaciale sedimenter i den sydvestlige del af Østersøen.

Boks: Kulstof-14 datering

Under dette studie er der i stor udstrækning anvendt kulstof-14 dateringer. Kulstof-14 er en ustabil isotop, der spaltes (henfalder) i årenes løb under udsendelse af radioaktiv stråling. Ved at måle, hvor meget kulstof-14 der er i en geologisk prøve, fås et mål for prøvens alder.

Man kan enten bestemme kulstof-14 indholdet ved at måle prøvens radioaktivitet, eller ved at accelerere kulstof-14 isotoperne under et spændingsfelt på flere millioner volt. Herunder mister de en del af deres elektroner, hvorefter deres antal kan tælles direkte.

Ved at bestemme kulstof-14 indholdet i årringe fra træer, hvis alder er kendt, fås et præcist mål for sammenhængen mellem alder og kulstof-14 indhold. Aldersangivelser, der tager hensyn til disse årringsserier, kaldes kalibrerede aldre. Betegnelsen non-finite aldre anvendes om aldersbestemmelser af 'gammelt' materiale, hvis indhold af den radioaktive kulstof-14 isotop er forsvindende lille, og som derfor ikke kan dateres ved metoden. 'Gammelt' materiale vil her sige materiale, der er ældre end ca. 40.000 år.

mindelige i regionen i de første årtusinder efter sidste istids afslutning end i dag, skyldes sikkert en kombination af flere faktorer. Dels var klimaet mere kontinentalt end i dag, blandt andet fordi Nordsøen og de indre danske farvande var mere eller mindre tørlagte. Alle tre arter har moderne østlige udbredelser, der indikerer, at de foretrækker et kontinentalt klima. Dels fandtes der en type ferskvand, der både var meget kalkrig og næringsrig. Den rå jord var rig på kalk og næringsalte, der blev skyllet ud i søerne. Senere blev søerne mere sure og mere næringsfattige. Visse forskere har foreslået, at arternes tilbagegang skyldes, at deres økologiske krav har ændret sig, men det forekommer usandsynligt, da der kun er tale om et relativt kort tidsrum.

En anden planteart, der også var meget mere almindelig i regionen end i dag, er avneknippe, en stor græsagtig sumplante med savtakkede blade,

der især vokser som en del af bredvegetationen ved søer. Denne art er meget kalkelskende, og dens tilbagegang må også primært tilskrives den naturlige forsuring. På Gotland, hvor jordbunden er kalkrig, er arten stadig almindelig.

Som nævnt er der fundet skaller af landsnegle i en boring fra Mecklenburg Bugt. Også en af disse landsnegle vidner om kalkrige miljøer, nemlig stor agatsnegl, hvoraf der blev fundet en enkelt skal. Arten er i dag sjældnen og lever i Danmark kun i isolerede bestande.

Ordlister

Ancylus Søen: Opdæmmed søfase i den centrale del af Østersøen, som nåede sin maksimale vandstand for omkring 10.400 år siden.

Ancylus transgressionen: Den stigning i vandniveauet, der førte frem til Ancylus Søens højeste vandstand.

Distal: Langt fra f.eks. en kyst.

Erosionsflade: Område udsat for erosion.

Gytje: Organiskrigt mudder, der aflejres i søer eller i havet.

Hiatus: Tidsafsnit, der 'mangler' i en sedimentær lagserie grundet erosion eller manglende aflejring.

Holocæn: Den postglaciale periode fra omkring 11.500 år siden og frem til vore dage.

Isostatisk: Vertikale jordskorpebevægelser som følge af varierende belastninger af jordoverfladen, f.eks. forårsaget af dannelsen af gletscheris eller afsmeltning af samme.

Omlejring: Sedimentære aflejringer udsat for erosion og ny aflejring.

Ostracoder: Små krebsdyr med kalkskal (muslingekrebs).

Makrofossiler: Fossiler der er så store, at de kan ses uden mikroskop.

Transgression: Havets indtrængen over landområder i forbindelse med relativ landsænkning (vigende kystlinie).