

VARV

NR. 3

BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER

1998



**SIDSTE NYT OM ØSTERSØENS UDVIKLING
I KVARTÆRTIDEN**

**3 FORSKELLIGE GULDFOREKOMSTER
SAMT LIDT OM
SYDNORSKE PEGMATITTER OG SPRÆKKER**

Forsidebillede: Forgrenet guld på kvarts. Michigan Bluff Mine, Placer Co. Californien. Guld optræder i en række krystalformer. Typisk ses forgreninger, svampelignende eller dendritiske korn, mens mere massive former inkluderer såkaldte 'nuggets', pladeguld eller fint partikelguld. Stykket er ca. 9 cm bredt og udstillet på Geologisk Museum i København. Foto: Ole Johnsen.

Forfattere til artikler i dette nummer kan kontaktes på følgende adresser:
Jørn Bo Jensen og Ole Bennike: GEUS, Thoravej 8, 2400 Kbh. NV.
Claus Østergaard og Henrik Fougst: Geologisk Institut, Østervoldgade 10, 1350 Kbh. K.

VARV

VARV er udgivet med støtte fra Kulturministeriets bevilling til almenkulturelle tidsskrifter.

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350-København K. Telefon: 35 32 24 00, Geologisk Institut

Redaktion: Asger Berthelsen, Bjørn Buchardt, Henrik Fougst, Bjørn Hageskov, Mikkel Hede, Mikael Pedersen og Svend Pedersen (ansvarshavende).

Bestyrelse: Asger Berthelsen, Valdemar Poulsen, Bjørn Hageskov og Svend Pedersen.

Tekstredaktør: Svend Pedersen

Lay-out og grafik: Bjørn Hageskov

Repro og tryk: Levison+Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 120 kr i abonnement for 1999. Abonnement kan tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 140 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 140 NOK til VARV's norske postgiro: 0806 1923234.

Adresseændringer bedes meddelt VARV!

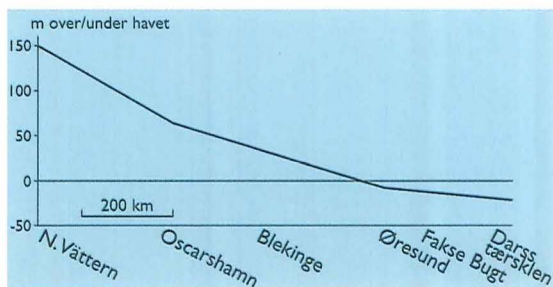
© 1998 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

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.

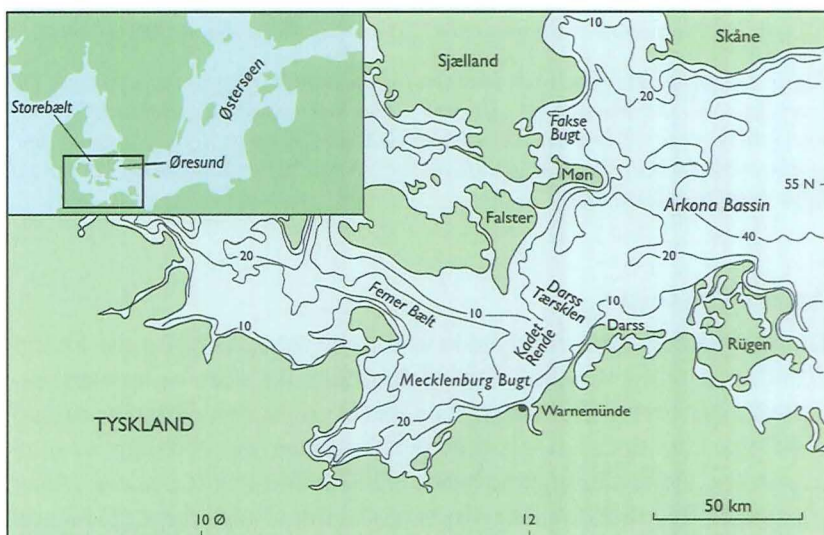
Under den sidste istid har området gentagne gange været dækket af det Fennoskandiske Isskjold. Hvornår isen smeltede tilbage sidste gang er usikkert, men den ældste kulstof-14 datering af landplanter er på 15.000 år før nu (kalibrerede kulstof-14 år, se boks), så på det tidspunkt var den



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

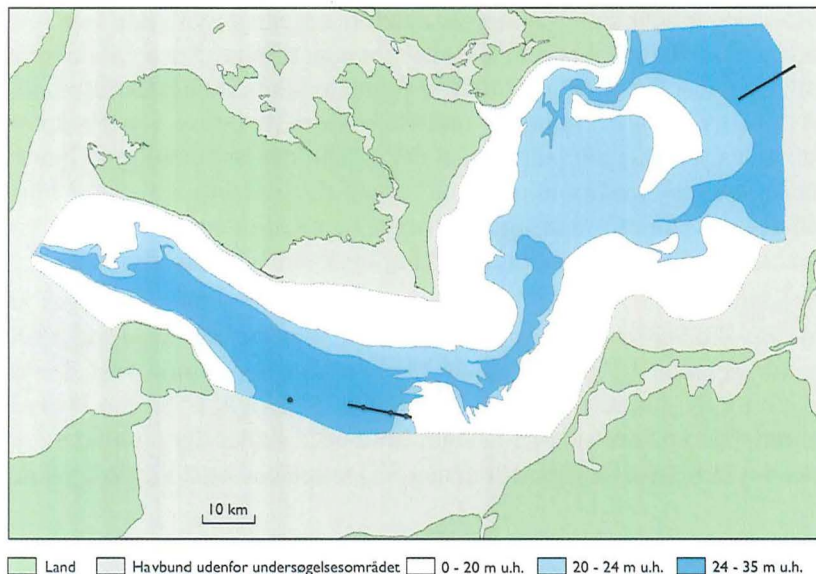
sidste is smeltet bort. Fra den polske del af Østersøen er der dateringer på op til 17.000 år, men disse dateringer er usikre, da de er baseret på prøver af sediment. Usikkerheden skyldes, at der i sedimentprøver fra Østersøen indgår små fragmenter af ældre organisk materiale som rav, kul og forkullet 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 'gamlelt' 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).

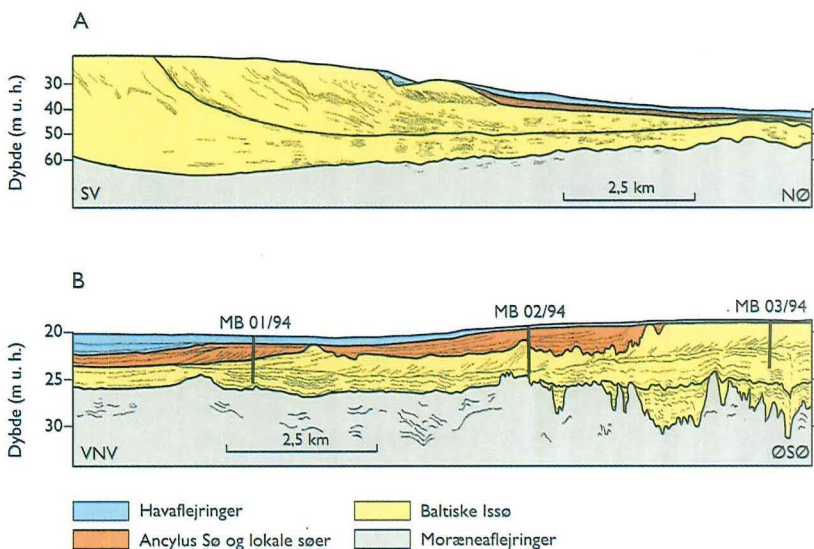


Figur 4. Den sen-glaciale overflademorfologi, som den tager sig ud i dag. De postglaciale sedimenter er 'fjernet'. Der har været to forbindelser til Østersøen øst for Darss Tærsklen, men den nordligste er den dybeste og har spillet den største rolle. Beliggenheden af de seismiske profiler og kerner på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

Arkona Bassinet

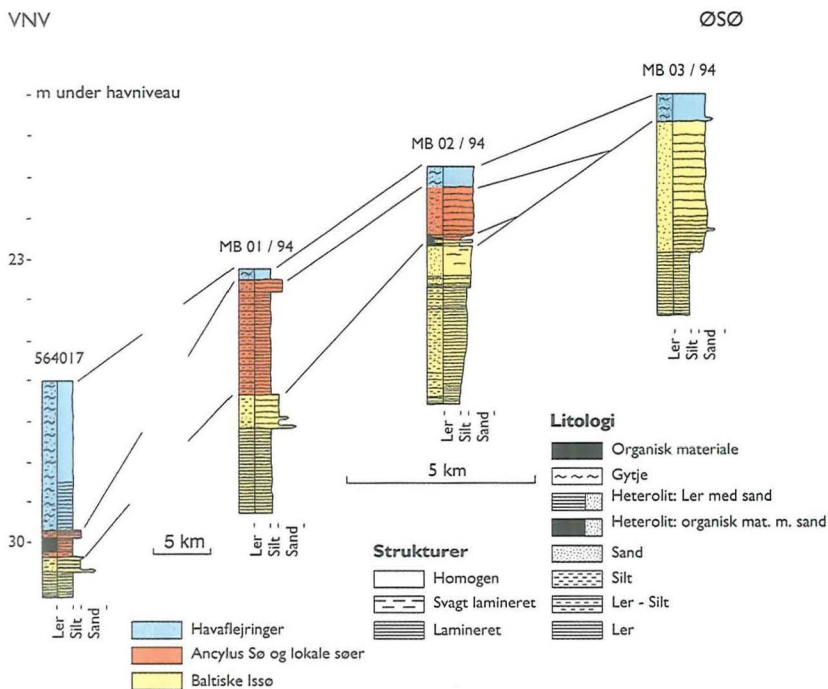
Da arbejdet begyndte, forventede vi at finde tegn på kraftig erosion fra Østersøens tidligere udløb i tærskelområdet og store sedimentmægtigheder vest herfor. Stor var derfor vores overraskelse, da det tværtimod viste sig, at der findes meget store deltasystemer, der er bygget ud mod østnordøst. Deltaaflejringerne 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.

ca. 25 meter. Dette pludselige fald skyldtes, at isranden smeltede tilbage fra Billingen i Mellemssverige. Afløbet fra issøen skulle herefter denne vej, og forbindelsen fra Østersøen til Kattegat via Danmark blev afbrudt. Selve kystaflejringerne indeholder ikke daterbart materiale, men de følges af ler og silt med indhold af makroskopiske plante- og dyrerester, der er dateret til mellem 10.800 og 10.300 år. Sedimenterne, der er rige på organisk materiale, følges af mere rent ler og silt, eller af sand på lavere vanddybde. Disse aflejringer er afsat i Arkona Bassinet, mens det endnu rummede ferskvand. Øverst findes vidt udbredte havaflejringer, der kan nå tykkelser på op til 10 meter i de centrale dele af bassinet. Havaflejringerne i Arkona Bassinet er desværre svære at datere, fordi skaller af muslinger og snegle normalt er opløst, og rester af landplanter er sjældne. De ældste skaller af blåmuslinger er dateret til 7.600 år.



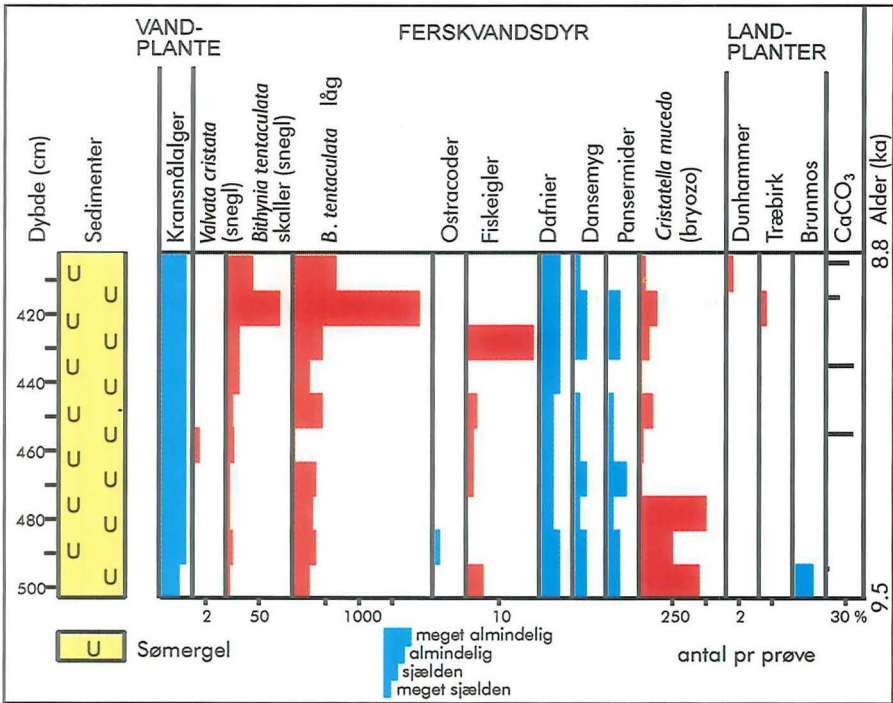
Figur 6. Lagsøjleprofil baseret på borekerner langs profilet fra Mecklenburg Bugt. Kerne 564017 ligger VNV for det seismiske profil i figur 5.

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).

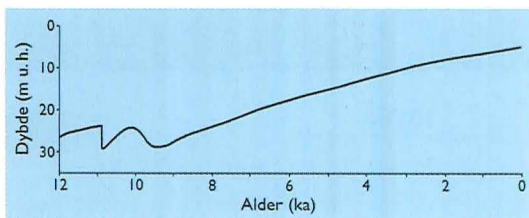
Centralt i tærskelområdet findes et lille lokalt bassin, der er udfyldt af sømergel. Mergelen indeholder kun ganske få makroskopiske rester af landplanter og kan derfor ikke dateres ved kulstof-14 metoden. De dateringer, der er vist i figur 7, stammer fra korrelation mellem pollenselskaber i mergelen 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-

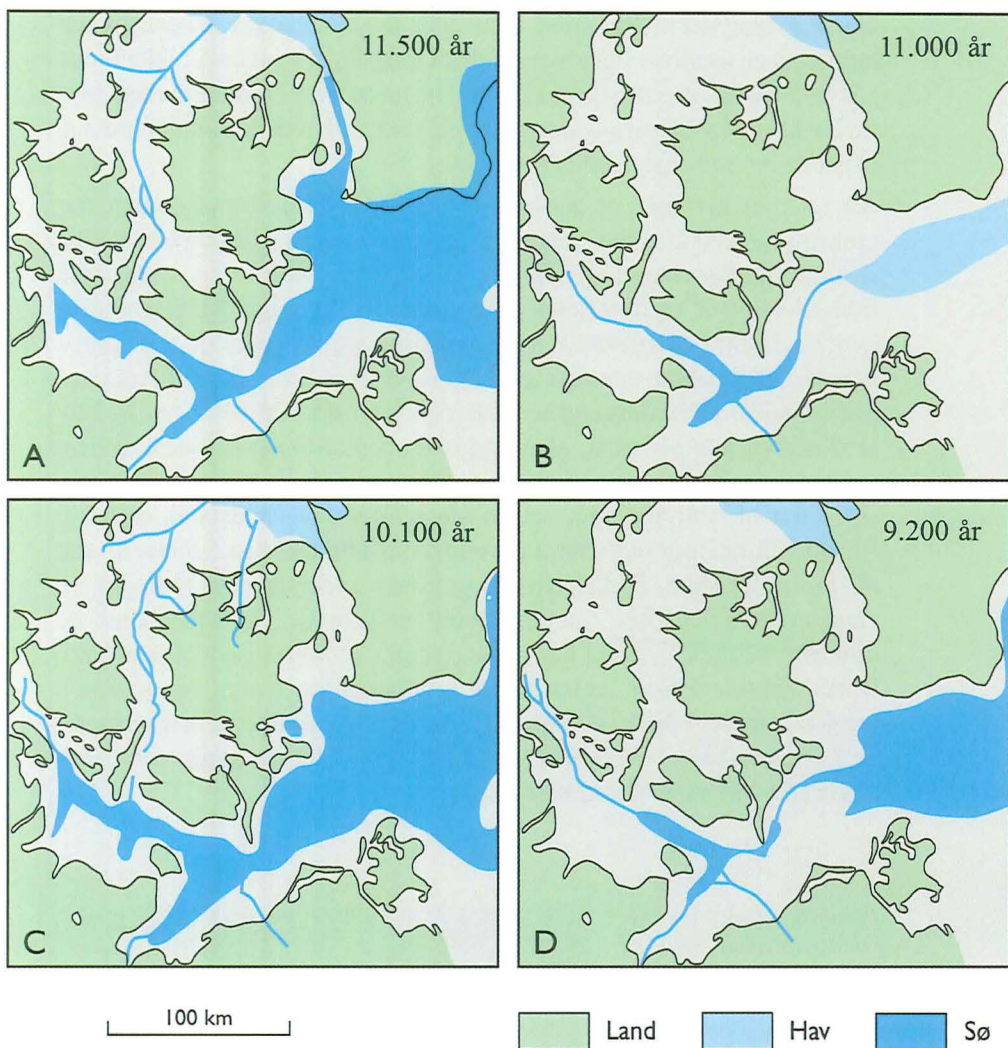
len, er alle knyttet til ferskvand. Udover de få typer makrofossiler rummer mergelen en usædvanligt artsrig flora af kiselalger, som heller ikke tyder på brakke endsige salte forhold. Dette synes at være i modstrid med data fra Blekinge i Sydsverige, der peger på, at der allerede kom saltvand ind i Østersøen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



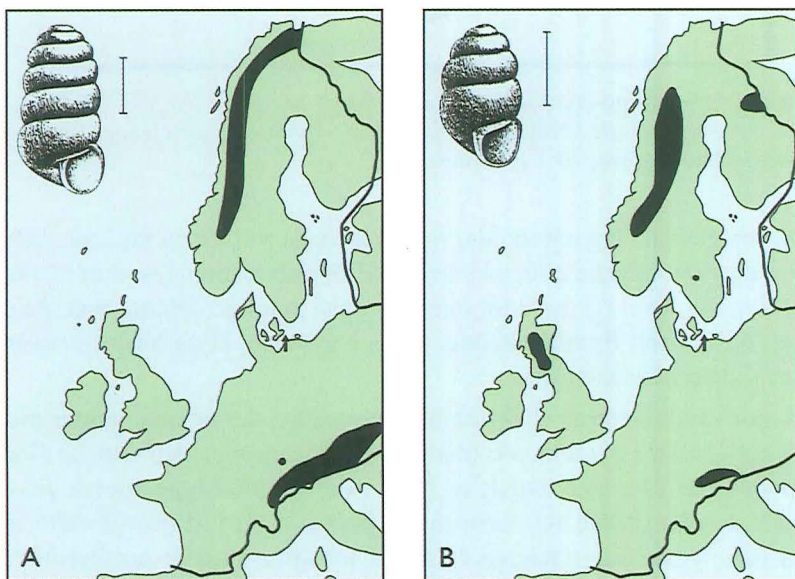


Figur 9. Fire faser i den palæogeografiske udvikling af Østersøen. Såvel den Baltiske Issø (A) som den efterfølgende Ancyclus Sø (C og D) strakte sig meget længere mod vest under deres maksimale udbredelse end tidligere antaget (se f.eks. værket 'Danmarks Natur'). Havet syd for Skåne i B var næsten helt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

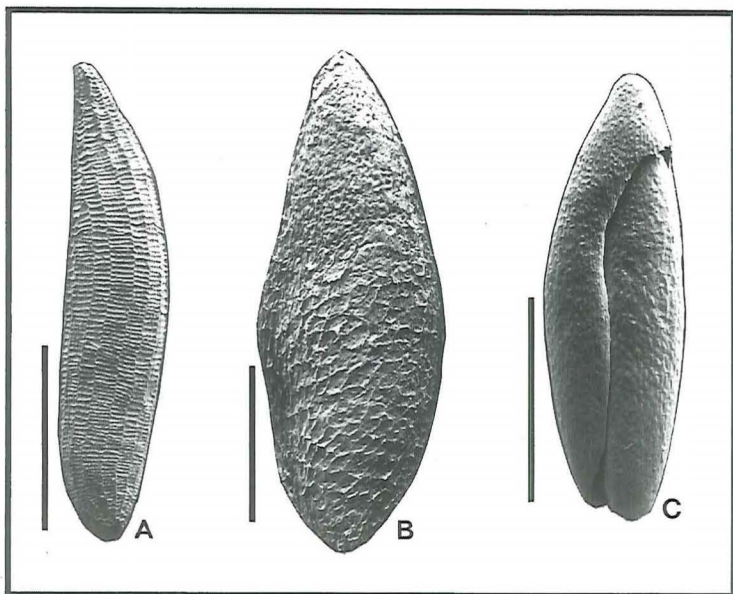
Lidt om flora og fauna

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,

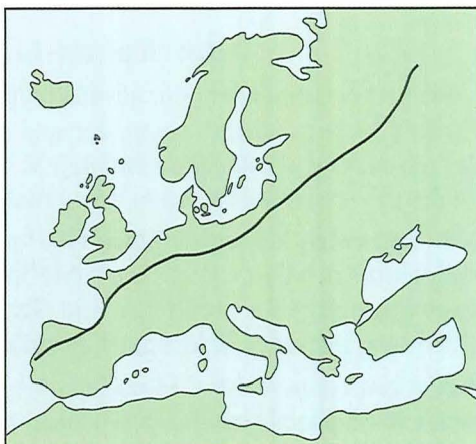
må man analysere prøvernes indhold af makroskopiske planterester såsom frø, frugter og blade.

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.

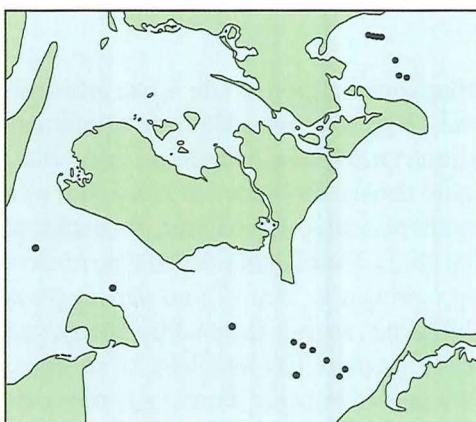
Nu og da kan man finde frø af planter, hvis pollen ikke bevares, således som najaderne illustrerer. Men makrofossiler har desuden den fordel, at de ofte kan bestemmes til art, mens pollen hyppigt kun kan bestemmes til slægt eller familie.

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).

Forklaring søges

Fra Eigil Holm, Byskovvej 4 i Gedved har redaktionen modtaget:

I forbindelse med mit arbejde med landskabsanalyser tager jeg mange fotos fra luften. Man ved aldrig, om der dukker nye iagttagelser frem, for det afhænger af den forudgående tids vejr, afgrøden på marken og landmandens driftsform netop det år.

Under flyveture i 1992 og 1997 iagttog og fotograferede jeg marker med for mig helt ukendte strukturer i jordbunden. Jeg har vist mine billeder til geologer, arkæologer og agronomer, men ingen har kunnet give en forklaring. Derfor spørger jeg VARV's læsere, om de kan hjælpe med at forklare strukturerne i de tre viste billeder.

I 1992 havde vejret været usædvanligt tørt i lang tid, og den 26. juni fløj jeg fra Tim flyveplads kl. ca. 11 i klart solskin i 300-500 meters højde og optog nedenstående to fotos (c 722 og c 820).

Det tredje billede (g 98) stammer fra en flyvetur over Østjylland den 25. oktober 1997. Sommeren havde været usædvanlig tør og varm.

Bidrag til forklaringer på jordbundsstrukturerne kan naturligvis sendes direkte til Eigil Holm, men allerhelst til VARV's redaktion således at vi kan bringe løsningsforslagene. Præcis lokalisering af markerne kan om nødvendigt indhentes fra Eigil Holm (red.).

6. juni 1992, Vestjylland, c 820. Nr. Vosborg Hede. Brede læhegn overskåret af speciel jordbund. Indsande til venstre. Hvad er der sket her?



26. juni 1992, Vestjylland, c 722. Mark ca. 2 kilometer vest for Tim. Lyse mønstre, hvor kornet ikke vokser. Kan det være sandflugtsmønstre? I nederste højre del af billedet er der hustomter og gærder, altså spor af bebyggelse, velsagtens forhistorisk.





D. 25. oktober 1997, Østjylland, g 98. Mark ved Skanderborgvej mellem Gedved og Tebstrup. Billedet er taget kl. 14 fra et højvinget monoplan.

Pløjemark med mønstre som årringe i et høvlet bræt. Til venstre er marken pløjet, til højre harvet. Lyse pletter er nedpløjede kæmpehøje, og tre af dem er vist på Nationalmuseets sognebeskrivelser. Mønstret kan ikke ses, når man går på marken. Jeg har aldrig set lignende mønstre på marker. Ejeren og pløjemanden havde ingen forklaring på fænomenet.



Claus Østergaard

Guld er det mest eftertragtede af alle metaller og fascinerer alene af den grund de fleste. En kombination af sjældenhed og skønhed har resulteret i øget efterspørgsel gennem de sidste 5.000 år, og nye anvendelsesmuligheder ser stadigt dagens lys. Guld har til alle tider været brugt i kunsthåndværk og udsmykning, men har også haft stor betydning som betalingsmiddel og er i moderne tid blevet et vigtigt element i industrien, f.eks. indenfor elektronikindustrien. Økonomisk og handelsmæssigt har guld stor betydning som garant for nationaløkonomisk troværdighed, en betydning der dog er aftagende.

På trods af den store anvendelighed og betydning var man næsten uvidende om gulds geokemiske egenskaber indtil midten af dette århundrede, hvilket resulterede i en mangelfuld systematisering af guldforekomster. De seneste årtier har dog bidraget til en øget forståelse af gulds kemi og dermed til guldmineraliseringer.

Forekomstmåde

Gulds variation med hensyn til mineralogi og kemi (se boks 1) afspejler sig i de forskellige forekomster af guld. Metallisk guld og guldførende mineraler optræder i en lang række geologiske miljøer og dertil hørende strukturer og bjergarter. Af hovedtyper kan nævnes:

(I) Placer eller tungsandsforekomster, det vil sige forekomster, der findes i flod- og kystmiljøer, hvor guld er opkoncentreret sekundært i sand og grusaflejringer.

(II) Hydrotermale forekomster, der efter dannelsestemperaturen kan inddeles i:

(a) Mesotermale forekomster, der ofte optræder langs bevægelsessystemer i prækambriske grønstensbælter, og som dannes ved ca. 200-500° C.

(b) Epitermale forekomster, der er mineraliseringer dannet ved relativt lav temperatur (50-300° C) som et resultat af hydrotermal lavtemperatur aktivitet ved jordens overflade.

(III) Intrusions-relaterede forekomster, hvor bl.a. processer i magmakamre er ansvarlige for opkoncentreringen af gullet.

Ofte er guldforekomster dannet som en kombination af flere processer, og ovennævnte klassifikation er derfor en forenkling af de faktiske forhold. Et par eksempler skal nævnes i det følgende for at give et indblik i forskellige forekomsters geologi.

Boks 1

Gulds kemi og mineralogi

Guld-Au

Atomnummer	79
Atomvægt	197 g/mol
Densitet	19,3 g/cm ³
Hårdhed	2° - 3
Smeltepunkt	1063°C
Foretrukne oxidationstrin	0, I, III, (II, IV, V, VII)
Krystalssystem	kubisk
Krystalklasse	4/m32/m (Fm3m)

Guld findes i det periodiske system (undergruppe IB) sammen med kobber og sølv, som guld derved har en række kemiske træk fælles med. Som det mest elektronegative af alle metaller har guld en særdeles god evne til at tiltrække elektroner. De hyppigst forekommende gulDMINERALER er de såkaldte tellurider, hvor guld optræder i kombination med andre metaller, som f.eks. tellur, sølv, bly og antimon. I mange forekomster findes guld endvidere i ren metallisk tilstand og er repræsenteret som enkeltkrystaller eller som uregelmæssige indeslutninger i bl.a. arsenopyrit, pyrit (svovlkis) eller chalkopyrit (kobberkis).

Placer eller tungsandsforekomster (Witwatersrand)

Witwatersrand forekomsten i Sydafrika er et eksempel på en såkaldt tungsandsforekomst eller placer. Placerforekomster er af enorm økonomisk betydning og har gennem historisk tid udgjort ca. 2/3 af verdens samlede guldproduktion. Ordet 'placer' er af spansk oprindelse og blev benyttet af de første spanske guldgravere i Nord- og Sydamerika om guldforekomster fundet i sand- og grusaflejringer dannet i flodløb. Her forekommer guldet som sekundære aggregater, der hovedsageligt ved hjælp af vand er skyllet ud af den oprindelige bjergart og derefter opkoncentreret i flodlejer eller kystmiljøer. Placerforekomster er særdeles attraktive, da de ofte indeholder store koncentrationer af guld og samtidig er relativt billige at udvinde sammenlignet med teknologisk krævende underjordiske åre-mineraliseringer.

I Witwatersrand findes nogle af verdens største og mest kendte guldforekomster. Området er prækambrisk (arkæisk alder, 3.000-2.700 millioner år) og består af kilometertykke flod- og kystsedimenter. Størstedelen af forekomsterne er placeret i den såkaldte 'Centrale Rand Gruppe', en op til 3 kilometer tyk bjergartsserie, der består af grovkornede umodne sandsten. I disse sandsten ses mindre enheder af konglomerat og kvartsrige sandsten, hvori de enkelte placerforekomster optræder. Størstedelen af guldet fra Witwatersrand er aflejret direkte i turbulent vand, men senere metamorfose i grønskiferfacies menes at have omfordelt 5-40 % af det oprindelige guld.

Mesotermale forekomster (Mother Lode forekomster)

De californiske Mother Lode forekomster er blandt verdens mest kendte mesotermale forekomster, og er samtidigt typelokalitet for en række tilsvarende mineraliseringer andre steder på jorden. Mother Lode guldmineraliseringer optræder i massive kvarts- og karbonatårer (åreguld), hvor sidestenen ofte er hydrotermalt omdannet til finkornet lys glimmer (sericit), karbonat- og/eller albit-rige bjergarter. Der er for det meste tale om relativt rene kvarts-guld mineraliseringer, der er fattige på metaller som f.eks. bly, zink og kobber.

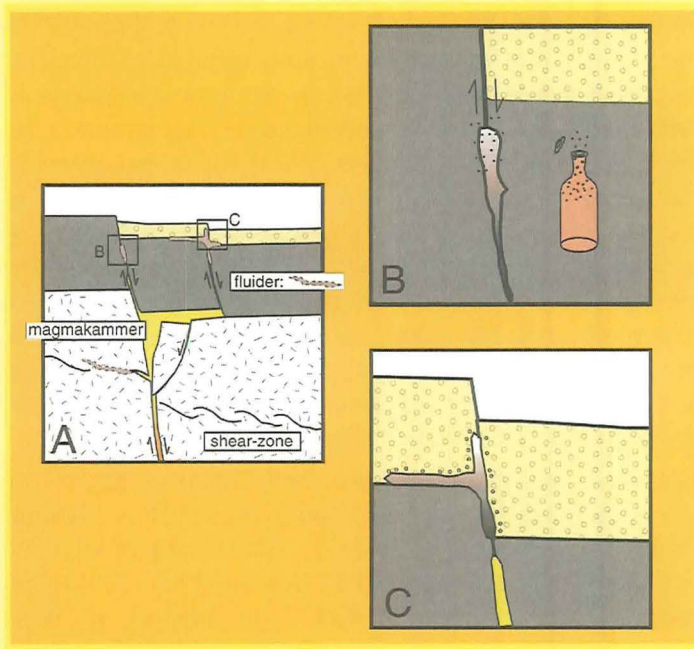
Kvarts-guld forekomster af denne type ses hyppigt i prækambriske grønstensbælter, hvor værtsbjergarten kan være vulkanske bjergarter

som basalt eller andesit, der er metamorfoseret i grønskifer- eller amfibolitfacies. Yngre tilsvarende forekomster findes også langs yngre tektonisk aktive pladegrænser, hvor plutoniske kvartsrige bjergarter som granit, granodiorit og tonalit giver ophav til dannelsen af guldførende opløsninger. Et gennemgående træk ved mesotermale åre-mineraliseringer er tilknytningen til større eller mindre shear- og forkastningssystemer. Ofte findes de guldførende kvartsårer kun i disse sekundære strukturer, hvor guldet er fanget og opkoncentreret ved hjælp hydrotermale fluider (se boks 2).



Figur 3. Placerforekomster udnyttes i mange lande af lokalbefolkningen som en ekstra indtægtskilde. Ved hjælp af simple redskaber kan store mængder af sediment hver dag sorteres og finkæmmes for guld. I sjældne tilfælde dukker særligt store 'gold nuggets' frem af sandet - til tider på størrelse med hønseæg! Billedet er fra højlandet i Papua Ny Guinea, hvor de centrale flodsystemer er tætbeholdet med 'lokale' guldgravere.

Boks 2



Guldudfældning er et resultat af graden af fysiske og kemiske ændringer i de bjergarter som en gulførende opløsning gennemtrænger. Afgørende parametre er først og fremmest tryk, temperatur, pH og Eh.

A) Fluidier (se VARV 1998,1) genereres eksempelvis fra et underliggende magmakammer og stiger op gennem Jordens skorpe via shear- eller forkastningsrelaterede sprækker. B) Udfældning i forbindelse med kogning er en klassisk proces til guldudfældning. Jo højere niveau i skorpen opløsningen når, jo lavere bliver det resulterende tryk. Herved begynder opløsningen at koge, da temperaturen typisk er ganske høj, og guld udkrystalliserer, da kogningen gør kompleks-ionerne ustabile. C) Kemisk udfældning forekommer typisk, når gulførende opløsninger passerer fra én type bjergart til en anden. Den ændrede bjergarts kemi og eventuel blanding med andre hydrotermale opløsninger forårsager en ændring i fluidens kemi, der medfører at de guldtransporterende kompleks-ioner bliver ustabile og guldet udfældes.

Boks 2

Hydrotermale fluider (varme, vandige og, ofte saltholdige opløsninger)

Hydrotermale fluider kan betragtes som saltholdige metalførende opløsninger, der dannes som følge af energi- og varmedannende geologiske processer i Jordens skorpe. Ofte er underliggende magmakamre ansvarlige for sådanne opløsninger, men også nedsivende, opvarmet og recirkuleret overfladevand er en væsentlig kilde til hydrotermale fluider, ligesom der ved metamorfose samt shear- og forkastningsbevægelser kan produceres og transporteres store mængder af opvarmede fluider. Under opvarmning og oxidering af fluiderne dannes komplekse ioner ud fra de grundstoffer, der allerede er til stede i fluiderne, ligesom der tilføres grundstoffer fra de omkringliggende bjergarter. Sjældne grundstoffer som guld bindes i disse ionkomplekser, fordi tilstedeværelsen i hydrotermale opløsninger kemisk set er mere favorabel end i den faste bjergart.

Der eksisterer en lang række hydrotermale kompleks-ioner, af hvilke de hyppigste guldførende typer er (HS)-komplekser og halogen-komplekser, henholdsvis af typen $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ og AuCl_2^- . (HS)-komplekser dominerer typisk ved temperaturer under 400°C , hvorimod halogen-komplekser dominerer ved temperaturer over 400°C . Grunden til, at netop disse komplekser optræder, er den hyppige tilstedeværelse af svovl og klor i Jordens skorpe fremfor andre mere sjældne kompleksdannende grundstoffer. Guld er ofte karakteriseret ved et monovalent oxidationstrin (iltningstrin) i hydrotermale opløsninger (Au^+), men ses også med højere oxidationstrin.

Guldførende hydrotermale opløsninger indeholder på trods af deres tilbøjelighed til at transportere sjældne metalliske grundstoffer relativt lave koncentrationer af disse set i et økonomisk perspektiv (for guld ofte kun 1-10 ppb). Dette bevirker, at der kræves store mængder af gennemstrømmende fluider (typisk flere km^3), før en egentlig guldmineralisering kan dannes i et område. Økonomiske forekomster dannes ofte, hvor guldet i allerede guldberigede områder bliver sekundært opkoncentreret af nye hydrotermale opløsninger, eksempelvis omkring store forkastnings- og shearssystemer. Sådanne strukturer virker som transportveje for de hydrotermale opløsninger og fungerer i sidste instans som fælder, hvori guldet udfældes.

Intrusionsrelaterede forekomster (Skærgårdsintrusionen)

Skærgårdsintrusionen (se VARV, 1990,1) er en verdenskendt lagdelt gabbro-intrusion, der ligger i Kangerdlugssuag Fjord ('Den store fjord') i det centrale Østgrønland. Intrusionen er ca. 55 millioner år gammel og er et resultat af tektonisk aktivitet i forbindelse med Atlanterhavets åbning i tidlig Tertiær. De første rapporter om en egentlig guldmineralisering blev offentliggjort i 1987, da det canadisk-grønlandske råstoffirma Platinova A/S i samarbejde med Grønlands Geologiske Undersøgelse overraskende registrerede høje guldværdier i en 2-3 meter tyk horisont. Det guldførende lag er del af en 3.000 meter tyk lagdelt bjergartssekvens, der skræner ned igennem intrusionen. Selvom guldet i Skærgården på nuværende tidspunkt ikke brydes, er mineraliseringen et interessant studie i, hvorledes processer i magmakamre er i stand til at opkoncentrere guld.



Den centrale del af Skærgårdsintrusionen set mod øst. Det lagdelte fjeld i forgrunden er ca. 600 meter højt, og det guldførende lag er placeret lige under de tre markante lyse lag i toppen af sekvensen. Fin-skala lagdeling ses længere nede. Desuden ses en stor blok, der stammer fra intrusionens øvre del, og som er faldet ned under størkningsprocessen.

Guld i Skærgårdsintrusionen forekommer sammen med platinmetaller, hovedsageligt som legeringer associeret med kobbersulfider. Disse findes oftest i mellemrummene mellem og i randen af tidlig krystalliseret feldspat (plagioklas) og pyroksen. Det observerede guld er opkoncentreret og transporteret i en restsmelte mellem allerede krystalliserede silikat-korn under de sidste stadier af krystallisationsforløbet. Samtidigt menes nedfaldne blokke fra den øvre del af intrusionen at have indvirket på mineraliseringens dannelse.

Guldmineraliseringen i Skærgårdsintrusionen er særligt interessant, fordi den viser, at guld i basaltiske magmaer kan findes i tilstrækkeligt store koncentrationer til, at det kan udfældes mere eller mindre direkte fra magmaet. Forekomster af denne type har indtil nu været ukendte, bl.a. fordi guldet ofte kun er udbredt i tynde lag og derved svært at lokalisere. Da gabbrointrusioner med samme oprindelse som Skærgårdsintrusionen imidlertid er ganske hyppige, er det ikke utænkeligt, at man vil opdage lignende intrusionsrelaterede guldmineraliseringer i fremtiden.

Ordforklaring

Grønstensbælte: Oftest prækambriske terræner bestående af metamorfoserede overfladebjergarter som lavaer og sedimenter.

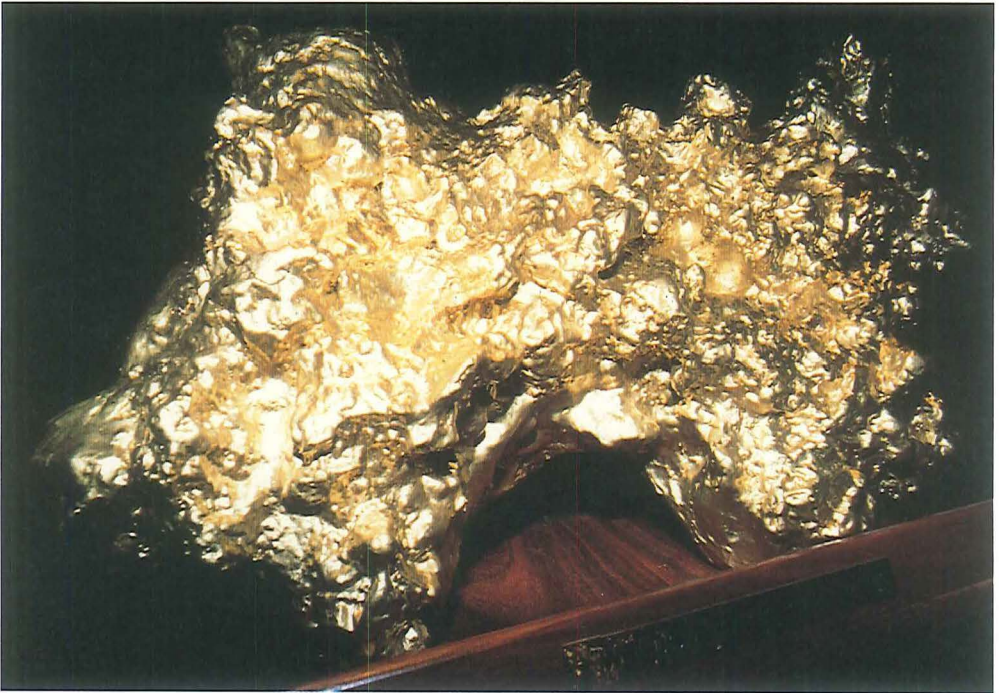
Hydrotermal: Kommer af de græske ord hyder = vand og thermos = varmt. Hydrotermale fluider er en geologisk betegnelse for varme vandige opløsninger. I mange områder med aktiv vulkanisme siver hydrotermalt vand ud på overfladen og danner varme kilder. Den forøgede opløselighed af mange metaller i varme fluider bevirker, at hydrotermal aktivitet kan kædes til dannelsen af mange typer af malmforekomster.

Halogener: En samlebetegnelse for grundstoffer i hovedgruppe VII i det periodiske system, hvoraf de mest almindelige er fluor (F), klor (Cl), brom (Br) og iod (I). Fælles for halogenerne er, at de nemt optager en enkelt overskydende elektron og dermed danner monovalente negativt ladede ioner (f.eks. F⁻ og Cl⁻). Disse tiltrækker gerne positivt ladede ioner som f.eks. Na⁺ og K⁺ og danner salte som bl.a. stensalt (NaCl) og bittersalt (sylvin, KCl). Opkoncentrering af specielt Cl⁻-ioner i hydro-

termale fluider er med til at øge opløseligheden af flere vigtige metaller, ikke kun af guld som nævnt i teksten, men også i høj grad bly og zink. Klorholdigt hydrotermalt vand er derfor også en vigtig bestanddel ved dannelsen af bly- og zinkforekomster.

ppb: parts per billion eller på dansk: en milliardedel. Koncentrationen af guld er i de fleste geologiske miljøer så lille, at den regnes i ppb. Har en bjergart 1 ppb guld betyder det, at der er 1 mikrogram (10^{-6} gram) guld per kilo sten.

Sericit: Finkornet lys glimmer, der oftest dannes ved nedbrydning af feldspat i forbindelse med metamorfose og hydrotermal omdannelse.



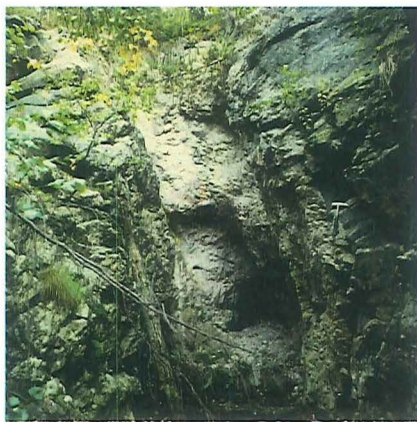
Kopi af verdens største guld klump (nugget), 'Welcome Stranger', der vejer ca. 71 kg og blev fundet i Australien i 1869. Foto Jakob Laurrup.

Pegmatitstrukturer fra Sydnorge

Henrik Fougst

Tager man fra Kristiansand i Sydnorge og 70 km mod nord, kommer man til byen Evje i den smukke Setesdal. Evjeområdet er et interessant grundfjeldsområde og har gennem mere end hundrede år været kendt af mineraljægere for sine mange pegmatitter. Pegmatitter er ekstremt grovkornede magmatiske bjergarter, ofte med feldspat og kvarts som hovedmineraller og mange eksotiske mineraler som mindre bestanddele.

I litteraturen er Evje-pegmatitterne beskrevet som 'uregelmæssige legemer'. Minutiøs kortlægning af pegmatitter ved Evje har imidlertid vist, at de enten har form af stejltstående gange eller fladtliggende legemer. I nogle tilfælde ser man endda en kombination af de to forekomstmåder, hvorved der dannes en champignonlignende struktur. To faktorer har haft afgørende indflydelse på pegmatitternes facon: Det sprækkemønster der var til stede i grundfjeldet, før pegmatitterne trængte frem, og den spændingstilstand (stress), der herskede under fremtrængningen.

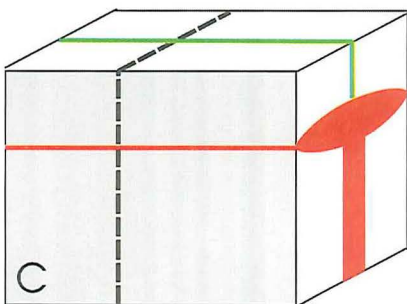
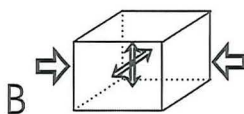
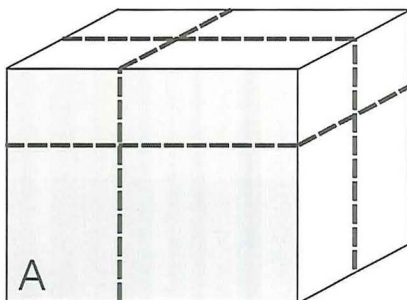


T. v.: Fladtliggende pegmatit, der skærer strukturer i den underliggende værtsbjergart (amfibolit). T. h.: Stejltstående pegmatit i amfibolit. Pegmatitten har været brudt enten for feldspat eller for indholdet af sjældne mineraler.

Da Evje-pegmatitterne er dannet efter en periode med tektonisk aktivitet og dannelse af granitlegemer, antages det, at grundfjeldet har været kraftigt opsprækket på alle leder og kanter, hvilket også ses af myriader af små gange og kvartsårer.

Pegmatittisk magma er meget letflydende på grund af et højt indhold af sjældne grundstoffer og gasarter og kan trænge frem selv gennem små sprækker, hvis de bliver holdt åbne.

Sprækker åbnes tektonisk, når de ligger parallelt med trykretningen (markeret med grønt i figuren til højre). I princippet svarer det til, at man trykker på enderne af en taxapung. Dette favoriserer en bestemt åbningsretning. Syd for søen Høvringsvatn i det ellipseformede magmatiske Høvringsvatn kompleks ses det eksempelvis, at pegmatitgangene ligger parallelt med ellipsens korteste akse med retningen VNV-ØSØ, og det anses følgelig for sandsynligt, at pegmatitterne er trængt frem efter dannelsen af Høvringsvatn komplekset, og mens dette blev deformeret.



A: Kassemodel med sprækker (stiplede linier) i 3 retninger.

B: Kassen udsættes for et tektonisk tryk i én retning, hvilket medfører en udvidelse vinkelret på trykretningen.

C: Nogle af de nu dannede og let tilgængelige sprækker (grøn) bliver værter for pegmatitter (rød), som vil trænge frem så længe, de har et tryk, der er stort nok. Andre sprækker vil blive til kvartsårer med tiden eller måske gange af et lignende eller et andet magmatisk materiale.



Lys pegmatit der skærer amfibolit. Bemærk, at pegmatitten først og fremmest har udfyldt en sprække, men enkelte steder i den øverste fladtliggende del ses der dog også tegn på, at den har smeltet sig vej frem. Brudsiden er ca. 20 m høj.