

FIGUR 10-21. Aflejringer fra overgangen mellem Paleocæn og Eocæn langs linjen Thisted-Viborg-Randers-Fredericia. Den lodrette akse viser de forskellige lags formodede alder. Tykkelserne fremgår derimod ikke. De hvide felter er tidsrum, hvorfra der mangler aflejringer.

stof gør nemlig selv i små mængder sedimenter grå. Mangler organisk stof derimod, kommer andre mineralfarver tydeligt frem, f.eks. de røde farver fra iltede jernforbindelser som i Holmehus Formationen.

Vanddybden i Paleocæn havde nu nået sit maksimum. Enkelte steder i Nordsøbassinet findes nogle få meter gråt ler over Holmehus Formationen. Disse lag blev aflejret i den seneste del af Paleocæn og kaldes Østerrende Ler (figur 10-2). Lagene er knap så finkornede og ser ud til at være aflejret på lidt lavere vand i en situation, hvor kysten var begyndt at rykke nærmere. Leret er opkaldt efter Østerrenden i Storebælt.

## Det tidligste Eocæn: vulkanisme og hedebløge

Den første halvanden million år af Eocæn var præget af markante globale og nordatlantiske begivenheder. Begivenhederne satte sig tydelige spor i vore hjemlige aflejringer og deres fossilindhold. Derfor skal denne korte optakt til den i alt 22 millioner år lange epoke Eocæn omtales separat. Nogle geologer mener, at dette tidsrum bør have sit eget navn, *Sparnacien*.

Den islandske „hot spot“, som også var aktiv ved Danien-Selandien-overgangen, lå fortsat under Grønland og gav anledning til en fornyet, omfattende vulkanisme. Kilometerdykke basalt-dækker flød ud i det centrale Østgrønland fra sprækker på samme måde, som man ser det i

mindre skala på Island i dag. Som navnet antyder, befinder den samme „hot spot“ sig nu under Island. Senere blev vulkanismen mere eksplosiv og spredte vulkansk aske over enorme områder. Den nedfaldne aske kan ses som askelag i aflejringer op til 2000 km væk, inklusive Danmark.

Samtidig begyndte den nordamerikanske og den europæiske kontinentalplade at glide væk fra hinanden. Opsprækningen skete langs den gamle sprækkezone, eller rift, mellem Grønland og Norge. I riften strømmede basalt ud, og det blev begyndelsen på et nyt ocean, den nordøstlige del af Atlanterhavet. Det var formodentlig også her i riften, at den mere eksplosive, askeproducerende vulkanisme fandt sted. Riften udvidede sig i starten med ca. 4 cm om året, og ved slutningen af Eocæn var den blevet 600 km bred. I den efterfølgende epoke Oligocæn aftog udvidelsen til ca. 1 cm om året.

Det globale klima udviklede sig på en enestående, dramatisk måde i det allertidligste Eocæn. I løbet af få tusind år opstod en global hedebløge, som varede de første 100.000-200.000 år af Eocæn. Muligvis blev varmebløgen på en indirekte måde udløst af den nordatlantiske vulkanisme. Den pludselige varme førte til mange forandringer af klodens dyre- og planteliv. Hedebløgen og dens mulige årsager er derfor nærmere omtalt i boks 10-1.

I Nordsøbassinet var havdybden kraftigt formindsket forud for og under hedebløgen. I Belgien er der bevaret en fossil skov fra denne lavvandede tid. Skoven voksede, hvor der før var hav. Starten på den faldende vandstand kan i Danmark registreres i det yngste lag fra Paleocæn, Østerrende Ler. Den lavere vandstand skyldes enten et globalt havspejlsfald eller landhævning i det nordatlantiske område som følge af „hot spot“-aktiviteten.

Denne korte periode på kun halvanden million år omfatter i Danmark ganske tykke lag tilhørende 3 meget forskellige aflejringer, som er vist på figur 10-21 og omtales i det følgende. Det ældste lag er Stolleklint Ler, som blev aflejret under varmebløgen, og herover følger to samtidige lag med vulkanske askelag: Fur Formationen i Nordvestjylland, og Ølst Formationen i resten af landet. (Formelt er Stolleklint Ler den nederste del af Ølst Formationen, men for nemheds skyld omtales det separat her).



Boks 10-1

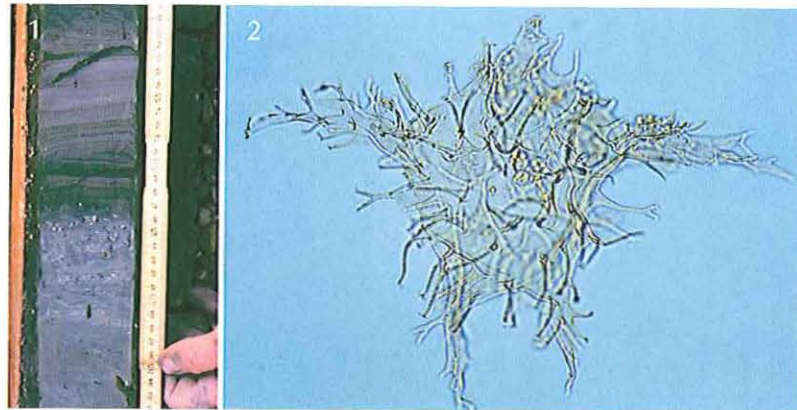
## En global hedebløge

Man har i de seneste år opdaget, at Jorden blev udsat for en temmelig pludselig og kraftig opvarmning for 55,5 millioner år siden. Gennemsnitstemperaturen steg 4-5 °C; ved polerne steg temperaturen særlig meget, og sandsynligvis blev klimaet subtropisk ved nordpolen. Klimaændringen blev afsløret ved, at man opdagede en kraftig forskydning af ilt- og kulstofisotoper i fossiler fra denne tid. Forholdet mellem iltisotoperne  $^{16}\text{O}$  og  $^{18}\text{O}$  i det fossile materiale viste, at der var sket en hurtig temperaturstigning (se kapitel 12). Forholdet mellem de stabile kulstofisotoper  $^{12}\text{C}$  og  $^{13}\text{C}$  pegede på en sandsynlig årsag, nemlig et øget indhold af drivhusgasser i atmosfæren. Kulstoffet er usædvanlig rigt på den lette  $^{12}\text{C}$ -isotop, og det må skyldes, at Jordens økosystemer, såvel i havet som på land, hurtigt blev tilført enorme mængder let kulstof. Det mest sandsynlige sted, hvor så store mængder let kulstof kunne frigives, er havbunden, hvor de såkaldte metanhydrater findes begravet i uhyre store mængder. Det er en slags sumpgas i fast, isagtig form, som er meget rig på  $^{12}\text{C}$ .

En begyndende, lokal smeltning af disse store lagre formodes at være sket ved Paleocæn-Eocæn-grænsen efter en første opvarmning af oceanernes bundvand. Metanen er boblet op til overfladen, til dels i iltet form, som kuldioxid,  $\text{CO}_2$ . Både metan og kuldioxid er stærke drivhusgasser (kapitel 12). Deres tilførsel til atmosfæren har fået temperaturen ved jord- og havoverfladen til at stige, og varmen har efterhånden forplantet sig til oceanernes bundvand. Det har ført til øget smeltning af metanhydrater med yderligere temperaturstigning til følge. Denne selvforstærkende udvikling fortsatte muligvis, indtil hele det globale lager af metanhydrat var smeltet, og det kan være en forklaring på den abnorme klimaudvikling.

Det anslås, at i alt 1500 gigatons kulstof blev frigivet. Iltningen af metan undervejs op til havoverfladen førte til nedsat iltindhold i verdenshavene. I særligt udsatte områder, bl.a. Nordsobassinet, blev bundvandet helt iltfrit.

Hele temperaturstigningen ser ud til at være sket over en periode på blot 10.000



1) I det danske område blev Stolleklint Ler aflejret i varmeperioden i begyndelsen af Eocæn, i et næringsrigt hav med iltfrit bundvand. Her ses det i en borekerne fra Mors. Det grønne ler i den nedre del af kernen er Holmehus Formationen fra før varmeperioden. 2) Hvilesporer fra dinoflagellat-slægten *Apectodinium* er det hyppigste fossil i Stolleklint Ler. Dinoflagellaterne blev favoriseret af det varme og næringsrige vand, og i denne periode blomstrede de op på kontinentalsoklerne overalt i verden. Sporen på billedet er ca. 0,1 mm lang. Foto: C. Heilmann-Clausen.

år eller mindre. Isotopundersøgelserne tyder på, at det meget varme klima varede i de næste 100.000-200.000 år.

Den dramatiske klimaforandring blev muligvis udløst af en omfattende vulkanisme i den nordøstlige del af Atlanterhavet. De vulkanske gasser tilførte atmosfæren kuldioxid. Men vigtigere er nok tegn på afgasning fra store områder af havbunden, hvor indtrængende smelter fra kappen opvarmede de gamle, dybtliggende sediment, som derved afgav metan.

Disse første udslip af drivhusgasser til atmosfæren kan have sat det hele i gang.

Også en komet rig på let kulstof er blevet foreslået som udløser for varmebløgen, men overbevisende tegn på et kometnedslag mangler fortsat.

Det skønnes, at det årlige kulstofudslip under temperaturstigningen var af ca. samme størrelse eller måske mindre end udslippet fra det moderne samfunds klimaeksperiment.

Opvarmningen berørte utallige balancer og kredsløb i Jordens økologiske systemer. Den medførte en øget uddoen af arter, som havde svært ved at tilpasse sig de varmere forhold, ligesom den muligvis har fremmet udviklingen af nye arter.

På landjorden skete der radikale forandringer under pattedyrenes lange udvikling. Hidtil havde meget gamle grupper været dominerende. Men fra nu af blev de trængt stærkt tilbage, og i stedet kom

nogle af nutidens vigtigste grupper til at præge pattedyrfaunaen. De første parrettåede og uparrettåede hovdyr (bl.a. heste) og egentlige primater (med abernes stamformer) er fundet i aflejringer fra Nordamerika dannet under hedebløgen. Disse moderne former er enten opstået på dette tidspunkt, eller også spredte de sig netop nu til den nordlige halvkugle fra et ukendt oprindelsessted.

På oceanbunden skete en masseuddoen af dybvandsforaminiferer. I de frie vandmasser blomstrede en bestemt dinoflagellat, *Apectodinium*, voldsomt op. Blandt de planktoniske, kokkolitbærende alger og foraminiferer optrådte nye, kortlivede former. Flere planktonarter, som normalt er sjældne, blev hyppige under varmebløgen.

Den forandring i isotopsammensætningen, der indvarslede varmeperioden, er registreret i aflejringer fra både oceaner og kontinenter. Man har derfor besluttet at sætte grænsen mellem de geologiske epoker Paleocæn og Eocæn ved begyndelsen af denne globale opvarmning.

Varmebløgen sluttede formentlig på en måde, der, groft sagt, var det modsatte af starten. Det ser nemlig ud til, at det store overskud af kulstof efterhånden igen blev ført tilbage til sedimenterne på bunden af verdenshavene i form af en forøget mængde af døde planktonalger. Herved blev kuldioxid igen fjernet fra havvand og atmosfære, og drivhuseffekten aftog.





FIGUR 10-22. Stolleklint, nordkysten af Fur. De udskridende masser af mørkt ler i forgrunden består af det fint lagdelte Stolleklint Ler – til højre vist på nært hold. I baggrunden selve Stolleklint med det lyse moler og askelag –33 som en hvid stribe. Danmark er et af de få steder i verden, hvor sedimentet fra hedebugens iltfattige have er blotlagt og let kan iagttages. Foto: C. Heilmann-Clausen.

### Stolleklint Ler

Havet i Nordsøbassinet var nu skrumpet ind, så det muligvis kun dækkede den centrale del af bassinet og Det Danske Bassin (se figur 10-2). Det fortsatte langt mod nord i et smalt stræde mellem Norge og Grønland, men der var næppe forbindelse til Det Arktiske Ocean. Dermed var vandmassen stort set isoleret fra verdenshavet.

I dette solignende indhav blev det op til 14 m tykke Stolleklint Ler aflejret. Stolleklint Ler kan man se på stranden vest for Stolleklint på Fur (figur 10-22), sommetider også vest for Svalklit på Mors, og i lergravene ved Ølst og Hinge syd for Randers.

Leret er mørkegråt til sort, og det har en tydelig lagdeling af millimetertynde lag. Den fine lagdeling viser to ting. For det første, at vandet stadig var ganske dybt, nok over 100 m; ellers ville bølgebevægelser have udvisket lagdelingen. For det andet viser lagdelingen, at der ikke har levet dyr ved bunden, for ellers ville materialet være rodet rundt og lagdelingen forsvundet. Fraværet af dyr skyldtes, at bundvandet nu var blevet totalt iltfrit. Iltmanglen skyldtes det nedsatte iltindhold i verdenshavene under hedebugen (boks 10-1), og iltmanglen blev forstærket af ringe cirkulation i Nordsøbassinet. Floder førte store mængder af nedbrudt plantemateriale og pollen fra de nærliggende landområder til indhavet. I lag fra den centrale Nordsø har man set, at indholdet af særlige pollentyper

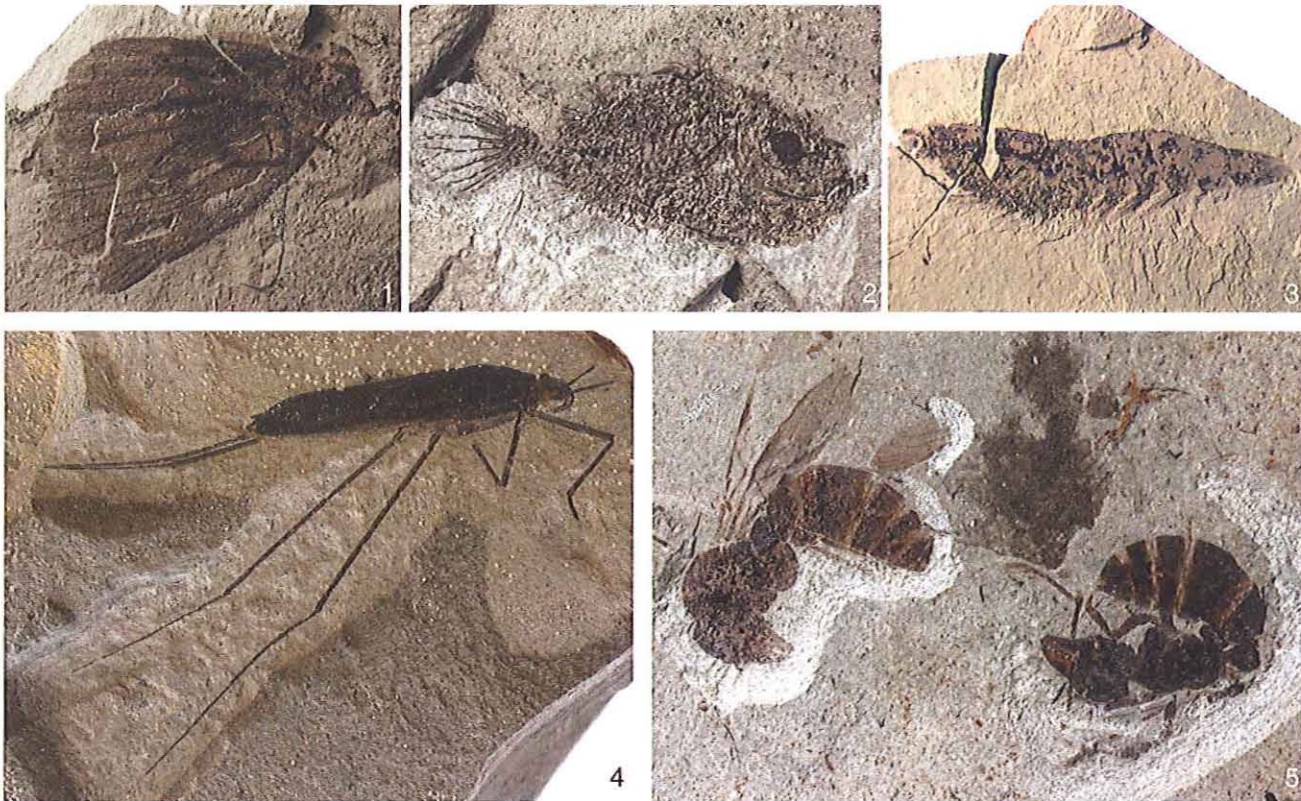
hurtigt øges og aftager igen i lagene ovenover. Disse pollentyper stammer muligvis fra var-meelskende planter.

Den dårlige cirkulation i indhavet skyldtes tilførslen af fersk flodvand, som sandsynligvis dannede et overfladelag med nedsat saltholdighed over det tungere, salte havvand. Vægtforskellen har hæmmet opblandingen af de to vandmasser. I det næringsrige overfladelag kunne kun få planktonorganismer leve; disse var til gengæld ekstremt hyppige. Især én bestemt planktonalge trivedes i det varme vand, nemlig dinoflagellaten *Apectodinium*.

Når de mange planktonalger rådned, blev iltten i vandet hurtigt brugt op, og derfor blev de ikke fuldstændig nedbrudt. Derfor er Stolleklint Ler rigt på organisk stof og pyrit. Pyritten stammer fra bakterier, som udfældede jernsulfid (se kapitel 7). Lader man en klump af leret ligge i fugtige omgivelser, vil der efter nogen tid dannes gule skorper af det svovlholdige mineral jarosit, og lerklumpen begynder at lugte af svovlsyre. Det skyldes forvitring af pyritten.

Nogle af lagene øverst i Stolleklint Ler er forsklede og skiferagtige. Heri findes en usædvanlig fossil fauna, som omfatter fint bevarede større dyr som fisk, de eneste fossile rejer, man kender fra Danmark, masser af insekter og rester af en lille fugl (figur 10-23). Fiskene og rejerne levede i den øvre, iltholdige del af vandmassen og omfatter arter, som viser, at indhavet stadig var ret salt.





Insekterne var dårlige flyvere, som ikke kunne holde sig i luften ret længe, og det tyder på, at kysten ikke var langt borte.

#### Ølst Formationen

Efter aflejring af Stolleklint Ler steg havspejlet igen, og havet dækkede atter store dele af Nord-søbassinet, inklusive hele det danske område og dele af Nordtyskland. I størstedelen af dette hav blev der aflejret mørkegråt ler med en mængde vulkanske askelag (figur 10-24). I Danmark benævnes disse vekslende ler- og askelag Ølst Formationen. I den øverste del af formationen er askelagene så talrige og så tykke, at de udgør hovedmassen af aflejringen. Flere af askelagene er 10-20 cm tykke. Denne let genkendelige aske-serie var en vigtig ledetråd, da man begyndte at kortlægge Nordsoens geologi i forbindelse med olieeftersøgning i begyndelsen af 1960'erne. De vulkanske askelag omtales nærmere i næste afsnit om Fur Formationen.

Ølst Formationen kan ses i lergravene ved Ølst og Hinge syd for Randers, i et lille parti i klinten ved Albæk hoved vest for Juelsminde, ved Ørby på Helgenæs og ved Røjle Klint på Nordvest-fyn.

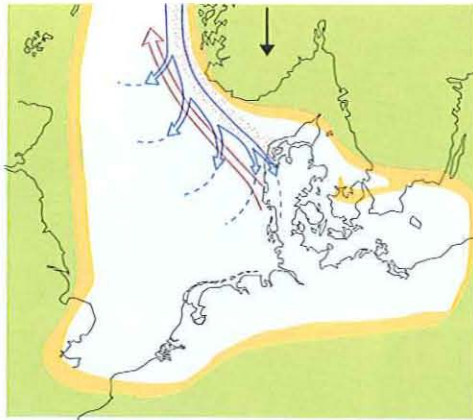
FIGUR 10-23. Eksempler på den tropisk-subtropiske fauna i Stolleklint Ler. 1) Verdens ældst kendte dagsommerfugl, længde 2,5 cm; 2) slægtning til nutidens pindsvinefisk og aftrækkerfisk, knap 2 cm lang; 3) rejen *Penaeus hamleti*, 3,5 cm lang; 4) Stor skøjteløber, kropslængde 2,5 cm. 5) to vingede dronninger af kæmpemyrer, formentlig tilhørende gruppen Ponerinae, begge ca. 2,5 cm; Fotos: S. L. Jakobsen og H. Madsen.

FIGUR 10-24. Ølst Formationens vekslende grå lag af aske og ler kan somme tider ses som et lille gråt parti i klinten ved Albæk hoved. Som vist på figur 10-21 er kun den yngste del til stede her. Nederst til venstre ses mørkebrunt Holmehus Ler og øverst til højre lysebrunt Rosnæs Ler. Foto: C. Heilmann-Clausen, 1990.





FIGUR 10-25. Rekonstruktion af havstrømme i „moleretid“. Sort pil = hyppigste vindretning. Blå pile = kølig overfladestrom, som afbøjes af corioliskraften. Rød pil = modgående understrøm. Røde prikker = zone med opstigende, næringsrigt vand. Gul farve = kystlinje. Fra Bonde, 1972.



### Fur Formationen eller moleret

#### Generelle forhold

Danmarks måske mest spændende aflejring er Fur Formationen, siden begyndelsen af 1800-tallet kendt som *moleret* (udtales med tryk på begge stavelser). Det lyse, lette moler findes i Limfjordsområdet, hvor det blev aflejret samtidig med, at Ølst Formationens ler blev aflejret i resten af landet (figur 10-26).

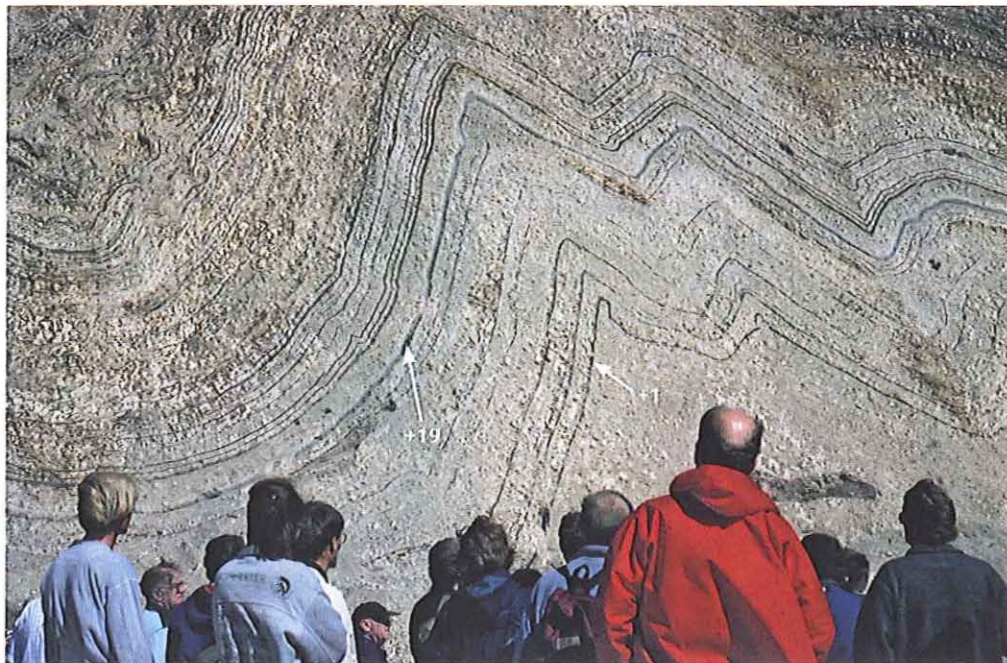
Moleret indeholder nøjagtig de samme vulkanske askelag som Ølst Formationen, men i moleret er askelagenes fine glaspartikler meget bedre bevaret. Asken er som regel sort og ses tydeligt i det lyse moler (figur 10-29). De omkring 180 askelag stammer fra vulkaner i det område mellem Grønland og Norge, hvor det nye ocean netop nu begyndte at dannes.

Ud over de vulkanske askelag er moleret nok mest berømt for sin rigdom på velbevarede fossiler, og moleret er da også suverænt den største leverandør af „danekræ“ (se kapitel 19). Fossilerne er især velbevarede i de meterstore kalkkonkretioner, de såkaldte cementsten (se nedenfor). Fossilrigdommen kan man se i de geologiske museer på Fur og ved Skarrehage på Mors. Det, som især gør indtryk, er de mange sider af livet ikke bare i molerhavet, men også i landet bag kysten, man får indblik i.

Den gode bevaring af fossilerne, især komplette skeletter af fisk og skrøbelige insekter, hænger sammen med, at der for det meste var iltfrit eller næsten iltfrit på bunden af molerhavet. Bundlevende dyr har manglet, og døde dyr og planterester, som sank ned fra de øvre vandmasser, har fået lov til at ligge i fred. Ilttilførslen forbedredes dog efterhånden, og i den øvre del med den såkaldt „positive askeserie“ (se nedenfor) ses spredte gravegange af dyr.

Selve moleret består mest af skeletter af mikroskopiske kiselalger, diatoméer (figur 10-27), og denne aflejringstype kaldes derfor en diatomit. Over 120 arter af diatoméer er beskrevet fra moleret, og de største skiveformede *Coscinodiscus* kan lige ses med det blotte øje. I forvitret tilstand er moler næsten hvidt. Det er meget porøst og så let, at det i tør tilstand kan flyde på vand. Farven og porøsiteten skyldes

FIGUR 10-26. Lyst moler med sorte askelag. Det nederste askelag er lag +1, og det tykke grå er lag +19. Foldningen af lagene skyldes kvartærtidens gletsjere. Ejerslev molergrav, Mors. Foto: C. Heilmann-Clausen, 1994.





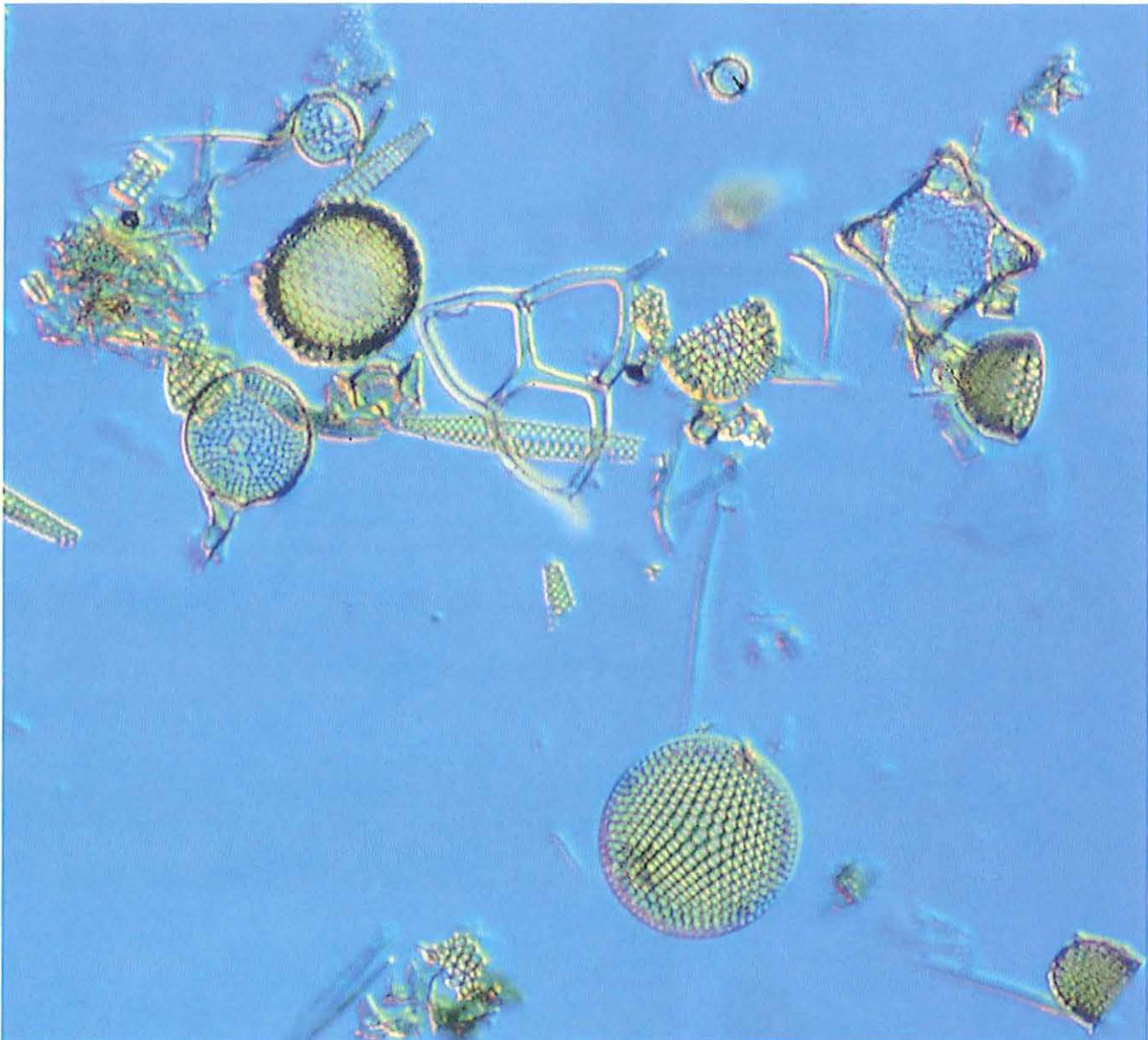
de fine diatoméskaller; ler udgør kun 30-45 % af bjergarten, og vulkansk støv udgør de sidste 10 %. Fur Formationen er Nordeuropas eneste større diatomitforekomst fra tertiærtiden. Den er fire gange så tyk som de samtidige lag i Ølst Formationen, i alt næsten 60 m. Det skyldes, at de enkelte diatomitlag er væsentligt tykkere end Ølst Formationens lerlag. I det vestlige Sibirien forekommer diatomit af samme alder som Fur Formationen.

Diatomit kan dannes, når næringsrigt, kiselholdigt vand får planktonalger, især diatoméer, til at formere sig kraftigt nær overfladen. Når døde kiselskeletter synker til bunds, opløses de normalt meget hurtigt. Men i et surt og iltfrit

miljø kan de undgå at blive opløst, og kiselskeletterne kan så komme til at dominere det aflejringsmateriale, så det bliver til en diatomit. I dag dannes diatomit især i områder af havene, hvor næringsrigt, kiselholdigt dybvand stiger op til overfladen (upwelling).

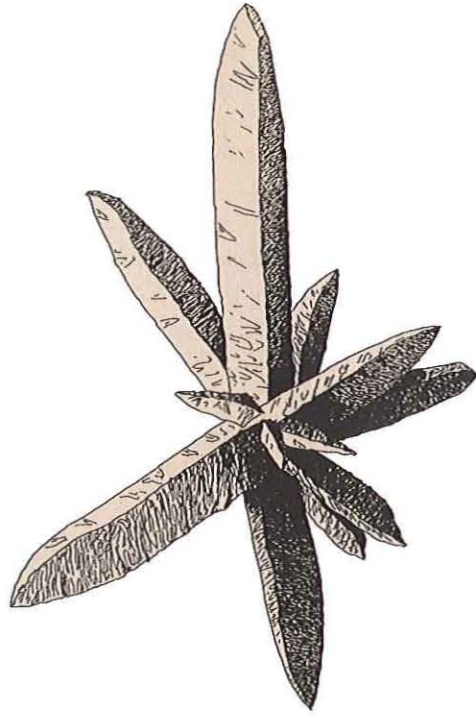
Der er fremsat flere teorier om, hvorfor der dannedes en tyk diatomit i et lille område lige netop i Nordvestjylland. Den nok mest sandsynlige forklaring (figur 10-25) tager udgangspunkt i, at de fremherskende vinde var nordlige, sådan som udbredelsen af de vulkanske askelag tyder på. Disse nordlige vinde drev en sydgående havstrøm, som trak næringsrigt dybvand op til overfladen i et smalt bælte langs kysten af et land-

FIGUR 10-27. Diatoméer og andre kiselskallede mikrofossiler fra moleret. Forstørret ca. 300 gange. Foto: S. B. Andersen.





FIGUR 10-28. Et bundt af omdannede ikaitkrystaller fra moleret. Total længde ca. 1,5 m. Fra Madsen, 2002.



område, der lå omtrent, hvor Sydnorge ligger i dag. Hvis teorien er rigtig, skulle moleret strække sig et stykke mod nordvest ud i det, der i dag er Nordsøen. Boringer har senere vist, at dette er tilfældet.

Moleret selv er kalkfrit, men i nogle ganske bestemte lag er kalk blevet udskilt i store boller, de

såkaldte cementsten. Cementstenene blev dannet ret tidligt et lille stykke under havbunden, som følge af bakteriers nedbrydning af organisk materiale.

Fur Formationen kan ses i en række store og maleriske kystklinter i Limfjordsområdet. Især kan nævnes Ertebølle Hoved i Himmerland, Knuden og Stolleklint på Fur, Feggeklit og Hanklit på Mors samt „Firkanten“ og „Sydklinten“ ved Silstrup i Thy. Også i molergravene på Fur og Nordmors kan man se disse lag. Næsten alle steder er moleret kraftigt forskudt og foldet. Det skyldes fremrykkende gletsjere i Kvartær, som har skudt de tykke, stivere molerlag op i kæmpemæssige flager, der er gledet hen over de underliggende, blødere lerlag.

De vulkanske askelag og fossilerne i moleret vil blive nærmere omtalt nedenfor, men først skal klimaforholdene belyses.

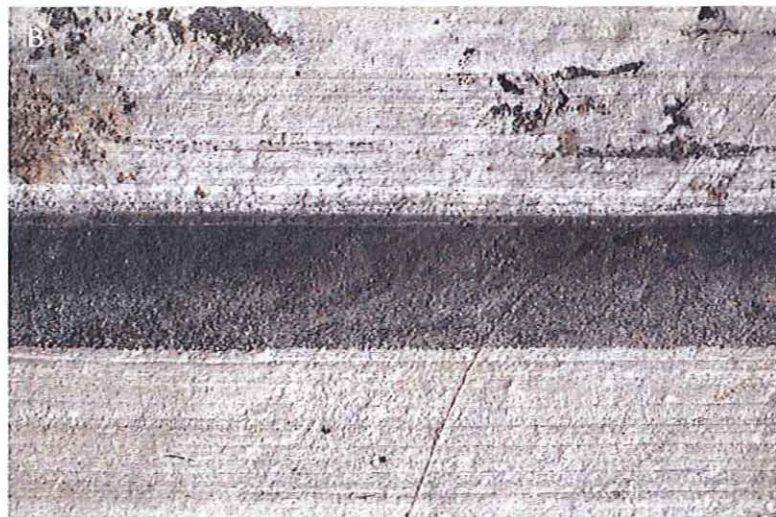
#### Klima og miljø

At domme efter molerets fisk, insekter og planter (side 207) var klimaet subtropisk. Men pollen og dinoflagellater tyder alligevel på, at der var sket en vis afkøling siden den meget varme tid, da Stolleklint Ler blev aflejret.

I moleret ses en indvandring af især oceaniske fiskearter, som mangler i Stolleklint Ler. Det tyder på en stigning af havspejlet, som skabte bedre



FIGUR 10-29. A) Vulkansk glas med spor af gasbobler fra et askelag i moleret. Begge glasskorn er ca. 0,05 mm. B) Vulkansk askelag, 12 mm tykt. Mange af askelagene er grovest i bunden. Det skyldes, at de største askekorn sank hurtigere til bunds i molerhavet end de finere korn. Foto: S.B. Andersen og C. Heilmann-Clausen.



forbindelse fra Nordsøbassinet til verdenshavet. Insekterne er bedre flyvere end dem, der findes i Stolleklint Ler. Også det peger på, at afstanden til kysten var blevet større.

Fossile planter fra Nordamerika viser, at en ca. 1 million år lang kølig periode på dette kontinent efterfulgte den globale hedeølge ved Paleocæn-Eocæn-grænsen. Moleret blev formentlig dannet i denne knap så varme periode.

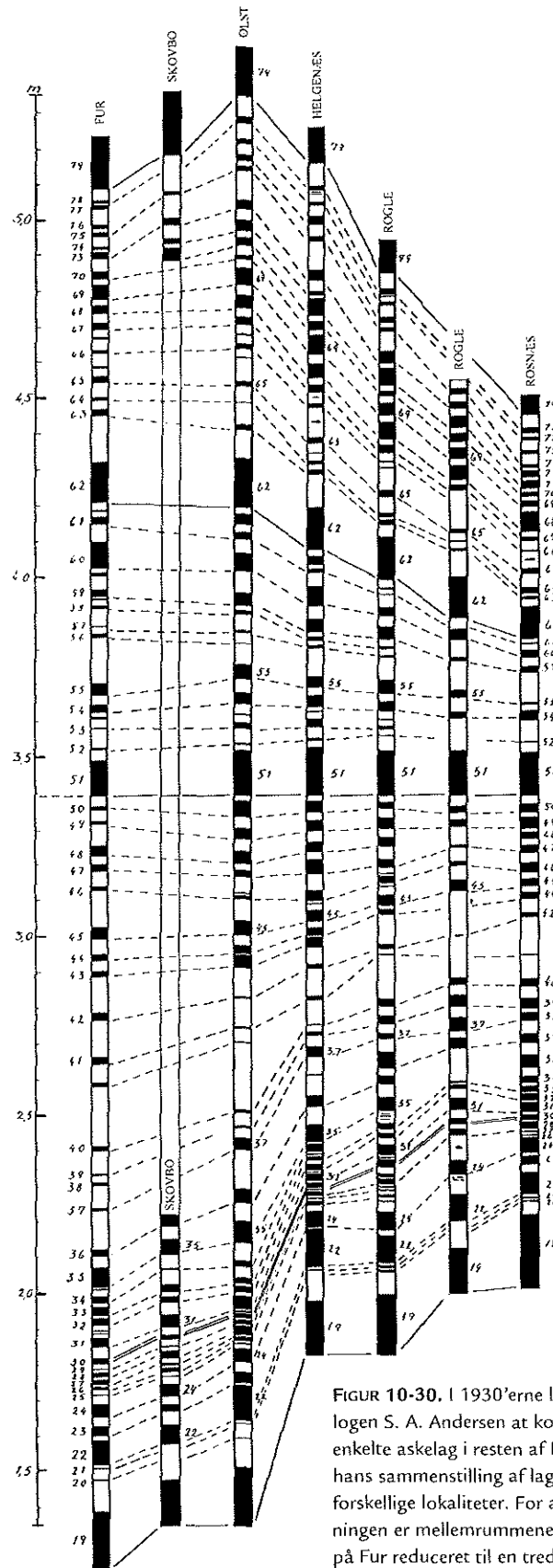
Endnu et fingerpeg om klimaet får man fra mineralet ikait (figur 10-28). Ikait er et ustabil kalkmineral, som kan udskilles i sedimenter ved temperaturer under ca. 8 °C. Hvis temperaturen senere stiger, omdannes ikait til det mere stabile kalcit. I den midterste del af moleret findes op til meterstore kalcitforekomster, som menes at være tidligere ikaitkrystaller. Disse omdannede krystaller tyder på, at bundvandet i molerhavet må have været ret koldt.

Vanddybden har måske været flere hundrede meter. I dette hav var vandet altså varmt med subtropiske fisk nær overfladen, men nok betydeligt køligere ved bunden. Temperaturforskellen kunne opretholdes på grund af den ringe cirkulation (se boks 10-2). Det kølige bundvand kan være dannet ved nedsynkning om vinteren. Eller måske flød en kølig bundstrøm sydpå fra polarbassinet via strædet mellem Grønland og Norge.

#### Molerets vulkanske askelag

De ca. 180 askelag skyldes en af de mest eksplosive episoder med overvejende basaltisk vulkanisme, man kender. Vulkanerne lå i området med den gamle brudzone, riften, mellem den nordamerikanske og den europæiske kontinentalplade, og de vidner om fødslen af et ocean. Riften havde længe været under stræk, men begyndte netop nu at åbne sig mellem Grønland og Norge. I dag ligger den i havet mellem Østgrønland og Færøerne og går tværs gennem Island. Udbruddenes abnorme størrelse og voldsomhed skyldes muligvis kontakt mellem vand og magma, efterhånden som det oprindelige landområde sank ned i forbindelse med opsprækningen.

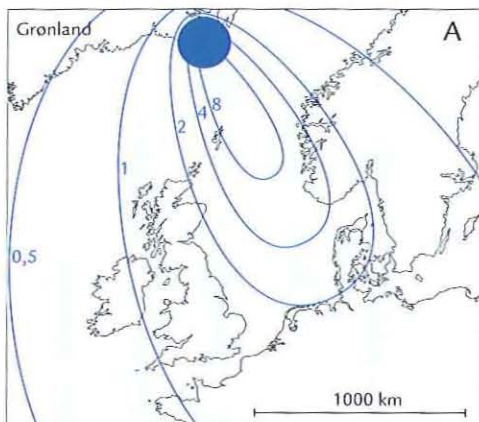
Den mineralogiske sammensætning af askelagene viser, hvorledes vulkanerne i begyndelsen overvejende var af en kontinental type og lå over havet. Men efterhånden dominerer askelag af basaltisk type, dvs. med en sammensætning



FIGUR 10-30. I 1930'erne lykkedes det geologen S. A. Andersen at kortlægge molerets enkelte askelag i resten af Danmark. Her ses hans sammenstilling af lagene +19 til +79 fra forskellige lokaliteter. For at lette sammenligningen er mellemrummene mellem askelagene på Fur reduceret til en tredjedel, ved Skovbo til det halve. Fra Andersen, 1937.



FIGUR 10-31. A) Den samlede tykkelse i meter af de vulkanske askelag i Nordvesteuropa. Fra Knox 1997. B) Ved et udbrud i vulkanen Etna i 2002 nåede asken til Nordafrika og Grækenland, 600 km væk. På dette satellitfoto af Syditalien er askeskyen over 300 km lang. Ved de største eocæne udbrud spredtes asken mere end 2000 km. Foto: Scanpix



svarende til oceanbund. De signalerer derfor, at der nu var begyndt at blive dannet oceanbund i riften. De basaltiske vulkanudbrud fandt sted på lavt vand i det gryende ocean, omtrent som i 1963 da den lille vulkano Surtsey dukkede op af havet ved Island.

De øverste 140 lag udgør en meget ensartet gruppe af særlig tykke og tætliggende lag, som på nær to sure lag alle er basaltiske. De antages at stamme fra et og samme gigantiske vulkansystem i det nye, lavvandede ocean. Beregninger af den samlede mængde aske i disse vulkanudbrud varierer mellem 6.000 og 21.000 km<sup>3</sup>. Det tykkeste lag, +19, stammer fra et af verdenshistoriens voldsomste udbrud. Beregninger tyder på, at det har udspreddt 1.200 km<sup>3</sup> aske og dækket 3% af Jordens overflade med et mere end 5 mm tykt lag. Måske har støv i stratosfæren fra denne vulkanisme medvirket til den afkøling, som fulgte efter hedeølgen på grænsen mellem Paleocen og Eocæn. Et forholdsvis stort indhold af iridium i flere af disse lag tyder på, at magmaet kom fra en usædvanlig stor dybde i kappen og derfor var særlig varmt. Den ekstremt eksplosive og voluminøse vulkanisme menes at være hørt op, da systemet efter kort tid hævede sig over havet og blev begyndelsen til Island.

Tidligere mente man, at de danske askelag stammede fra en vulkan syd for Norge, men en seismisk kortlægning har senere vist, at der alligevel ikke var en begravet vulkan det pågældende sted.

De talrige vulkanske lag blev første gang iagttaget i Danmark, hvor de iøjnefaldende sorte lag tidligt påkaldte sig interesse. I 1800-tallet troede man, at lagene muligvis bestod af kullholdigt sand. Ved at grave dybere ned i dem håbede man

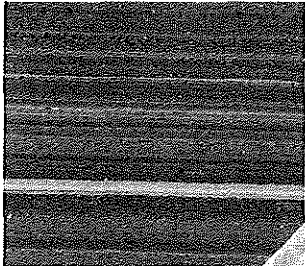
at nå frem til kul af en bedre kvalitet. I 1809 satte man svenske krigsfanger til at grave efter kul på nordkysten af Fur. Minegangen (stollen) kaldtes Svenskehulen, og resterne af den kan stadig ses i den klint, som i dag hedder Stolleklint. Kul fandt man dog ikke.

En belgisk forsker, som studerede cementstenenes diatoméer, opdagede, at de sorte lag var vulkanske askelag og beskrev det i 1883. Men denne vigtige opdagelse blev overset, og først i 1902 blev de danske geologer klar over, at de problematiske kullag i virkeligheden bestod af vulkansk aske. Grundige undersøgelser blev da sat i værk, og hurtigt blev man klar over, at de enkelte askelag kunne genkendes fra klint til klint overalt i molerområdet. Man gav derfor askelagene numre, og inddelte dem i en nedre „negativ askeserie“ bestående af spredtliggende



Boks 10-2

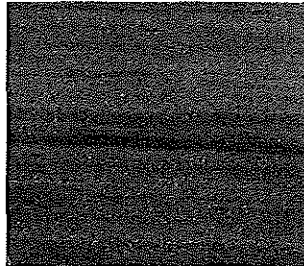
## Iltmangel i molerhavet



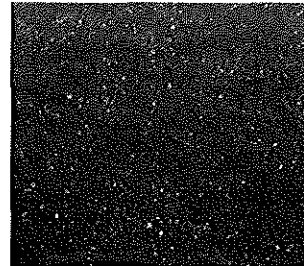
A. Fin lagdeling. Ingen forstyrrelse af oprindelig lagdeling. Større encellede og flercellede organismer har manglet. *Iltfrit bundvand.*

Bundvandet i molerhavet var somme tider fuldstændig iltfrit på grund af ringe cirkulation. Til andre tider var der lidt ilt

til stede. Ved at kigge lidt på strukturen i et stykke moler kan man „aflæse“, hvor stor iltmængden var.



B. „Ulden“ lagdeling. Der har været skubbet lidt til sedimentkornene; men lagdelingen er ikke helt ødelagt. Det er encellede organismers værk; større dyr har manglet. *Meget lidt ilt til stede.*



C. Ingen lagdeling. Den oprindelige struktur er helt ødelagt. Det har krævet indsats fra lidt større dyr. *Ilt til stede.*

Foto: C. Heilmann-Clausen.

lag, nummereret nedad -1 til -39, og en øvre „positiv askeserie“ med mere tætliggende lag, nummereret opad +1 til +140.

Snart fandt man også askelagene i andre dele af Danmark (figur 10-30), og i dag kendes de fra store dele af Nordvesteuropa, endda fra Atlanterhavet sydvest for Irland. Askeskyerne nåede helt ned til Østrig, som lå i datidens middelhav (figur 10-31).

### Molerets fossile fisk

Moleret indeholder omkring 50 forskellige arter af fisk (figur 10-32). Det er først og fremmest benfisk, mens der kun er ret sjældne rester fra 3 arter af hajer. Benfiskene spænder fra helt små former på en centimeters længde til et par meter lange rovfisk.

Den hyppigste er en lille laksefisk, der er fjernt beslægtet med nutidens guldlaks (figur 10-33). Den udgør over 90 % af fiskene og er så almindelig, at enhver med lidt ihærdighed kan finde den, eller i det mindste stumper af den. Den har levet af plankton, og selv findes den ofte i maven på de større fisk. Den næsthyppigste art er en lidt større laksefisk, beslægtet med nutidens smelt. En primitiv pigfinnefisk, en polymixiide, samt et par arter af torskefisk er også ret almindelige.

Cirka halvdelen af arterne, bl.a. flere arter af makrelfisk, er tidlige repræsentanter for ægte

pigfinnefisk af aborregruppen, som i dag er langt den største gruppe af benfisk i havet.

Fiskene tilhører de frie, åbne vandmasser, og mange arter er oceaniske. En enkelt dybhavsfisk er endda repræsenteret, en *Rondeletia*-lignende art af den nutidige gruppe „hvalfisk“. Egentlige bund- og kystformer mangler. Faunaen har et subtropisk-tropisk præg.

Molerets fisk er den ældst kendte fauna med relativt nutidig sammensætning. Mange nye former må have udviklet sig på den ret korte tid, der var gået siden kridttidens mere primitive faunaer med flest „blodfinnefisk“ som silde- og laksefisk.

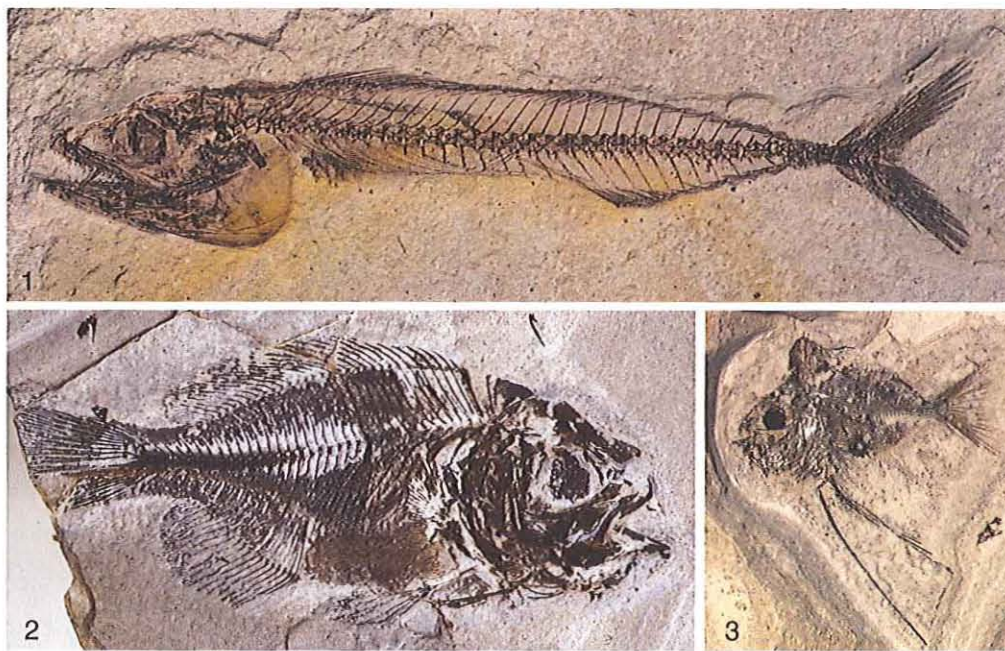
### Molerets fossile insekter

Insekter er særdeles hyppige i molerets cementsten (figur 10-34). Sammen med insekterne fra Stolleklint Ler er der næsten 200 arter. De er kommet ud over havet ved aktiv flugt eller ved passivt at være blevet ført med vinden, formentlig fra et landområde i det nuværende Sydnorge. Som fiskene er de ofte velbevarede og kan endda have bevaret farvemønstre.

Også insektfaunaen har et – i forhold til alderen – moderne præg. Ifølge en ny undersøgelse er de hyppigste insekter tovinger, tæger og cikader. Blandt cikaderne er især mange arter af lygtebærere (*Fulgoromorpha*). Også græshopper, netvinger og årevingede er talrige. Der er kun få sommerfug-



FIGUR 10-32. Benfisk fra moleret. 1) Unge af makrelfisk, 9 cm, bevaret som aftryk i moler. Foto: Søren Bo Andersen. 2) Slægtning til smørfisk og sortfisk, 7 cm, i cementsten. Foto: Ole Bang Berthelsen. 3) Unge, 2 cm, af en slægtning til nutidens meget store glansfisk, i cementsten. Foto: S. L. Jakobsen.



learter, men dem, der er, er til gengæld ret hyppige. Faunaen indeholder de ældst kendte repræsentanter for flere forskellige grupper af græshopper og fårekylinger, bl.a. løvgræshopper.

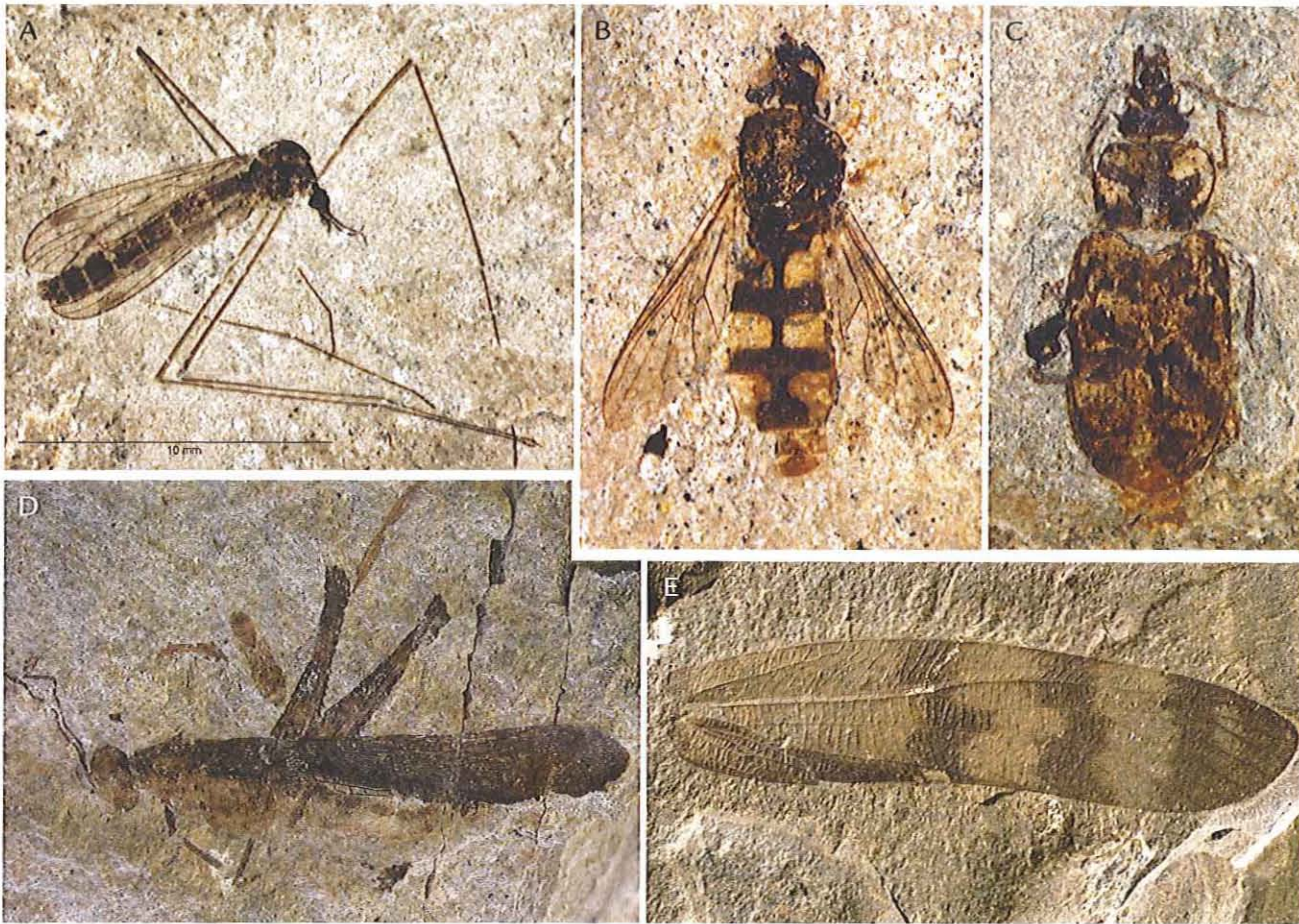
Insekterne stammer fra et landområde med et sæsonpræget, subtropisk klima. De er alle kommet ud over havet om sommeren. I dag sker det ofte, at store insektsværme letter på varme sommerdage med svag vind. På samme måde kan mange arter være fort ud over molerhavet i enorme mængder dengang. Under transporten er der sket en vis sortering, så insekfundene ikke svarer helt til den oprindelige fauna.

En skildring af naturen på land baseret på de fundne insekter er derfor noget usikker. Mangfoldigheden af plantesugende insekter peger på områder med yppig vegetation. Et bredt spektrum af ferskvandsinsekter viser, at der både var søer og vandløb. Damtægegruppen med skøjteløberne er blevet særlig grundigt undersøgt og omfatter 7 arter. Andre insekter stammer fra enge, skove og buskområder. Molerets fauna er tydeligt forskellig fra den, der kendes fra Stolleklint Ler, og omfatter, som nævnt, bedre flyvere, end man finder dér.

FIGUR 10-33. Lagflade med en vrimmel af „guldlaks“, molerets hyppigste fisk. Foto: S. B. Andersen.







### Molerets fossile fugle

I de senere år er en række fremragende fossiler af fugle blevet fundet, så man nu kender til ca. 30 skeletter, nogle fragmentariske, andre næsten komplette (figur 10-35). Hertil kommer en hel del velbevarede, men ubestemte fjer. Det er den ældste større fuglefauna, som kendes siden Tidlig Kridt. Den er derfor vigtig for kortlægning af fuglenes udviklingshistorie og er for nylig blevet grundigt undersøgt.

Fuglene omfatter mange fremmedartede former. Deres nulevende, ofte stærkt farvede slægtninge lever i tropiske og subtropiske områder. Især små skovfugle, som ligner turakoer (bananædere), trogoner, musefugle og træsejlere er repræsenteret. Andre trælevende fugle er natravne, ugler, ellekrage-isfuglelignende skrigfugle og spættefugle. Fugle fra mere åbent land omfatter høns- og vadefugle. Endelig bør nævnes de uddøde flyvende lithornithider, slægtninge til nutidens flugtlose strudsefugle.

Det kan undre, at næsten alle fuglene er landfugle, især skovfugle. På nær en slægtning til pelikan- og fregatfuglene kendes ingen havfugle. Årsagen kan være, at mange små landfugle under storme er blevet ført ud over havet og er omkommet her. Havfuglene derimod har kunnet svømme og har kunnet overleve i disse situationer.

### Andre dyrefossiler fra moleret

Det berømteste fossil fra moleret er nok den 1,5 m store læderskildpadde, *Eosphargis breineri* opkaldt efter finderens Magne Breiner, som også grundlagde det geologiske Fur Museum. Et par karakteristiske ryghvirvler viser, at også en kvælslange levede i molerhavet.

Drivende træstammer har været levested for blåmuslinger og langhalse, som er en gruppe af ejendommelige, fastsiddende, stilkede krebsdyr. Et par fritsvømmende, tibenede krebsdyr, og toklappede krebsdyr, som ligner bladfodder, kendes også.

FIGUR 10-34 Molerinsekter, nogle med bevarede farvemønstre. A) stankelben; B) svirreflue, 1,5 cm; C) lobebille, 2 cm; D) markgræshoppe, 2,5 cm; E) forvinge af lovgræshoppen *Pseudotettigonia amoena*, 6,5 cm; Foto: S. L. Jakobsen, H. Madsen og S. B. Andersen.



FIGUR 10-35. 1) Kranium af vadefugl eller vandhønefugl, i cementsten fra moleret. Kraniet er så velbevaret, at selv de små fine forbeninger fra øjet (scleralringen) kan ses. Syrepræparation og foto: S.L. Jakobsen. 2) Fjer, 1,5 cm, i cementsten. Foto: S. B. Andersen.



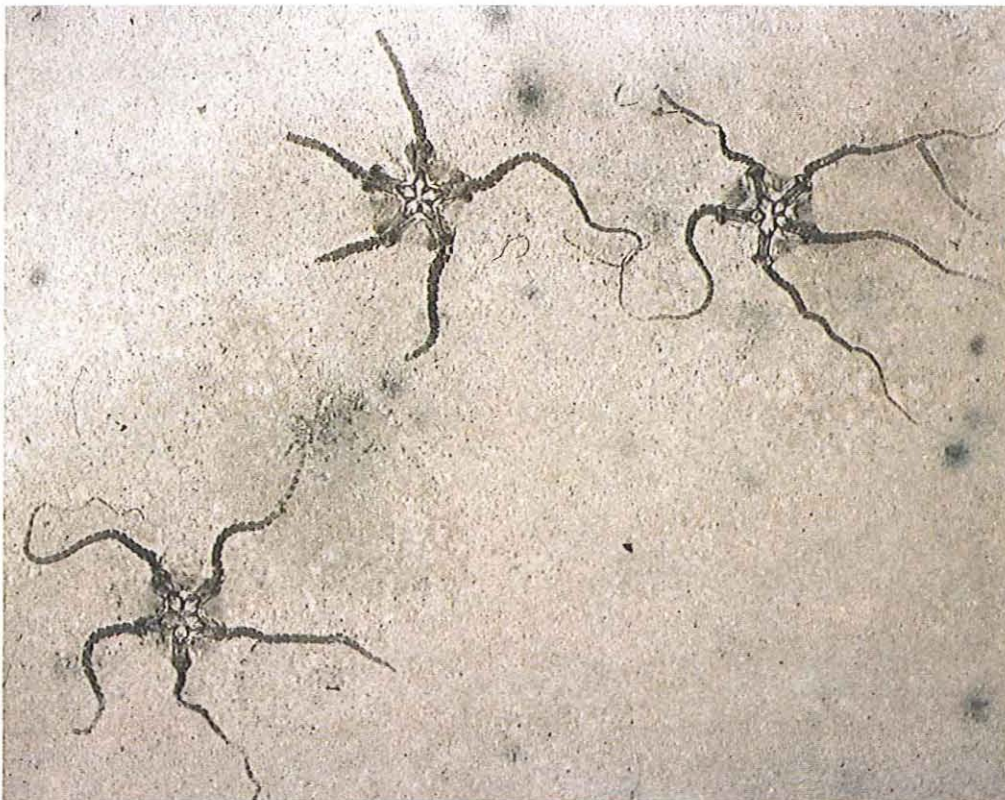
I perioder med ilttilførsel til havbunden er bunddyr indvandret. De fåtallige fossiler omfatter enkelte arter af snegle og muslinger, slange-stjerner (figur 10-36) og meget sjældne søstjerner.

#### Molerets fossile planter

Selv om moleret formentlig er aflejret mindst 100 km fra den nærmeste kyst, er mange plantedele alligevel drevet derud: stykker af drivved og sjældne, hele træstammer, kviste, blade, frugter, frø, ja endda blomster. Planterne omfatter bl.a. nåletræerne rødtræ (*Sequoia*), fyr, sumpcypres, det sjældne tempeltræ (*Ginkgo*), og muligvis abetræet (*Araucaria*). Frugter af ahorn kendes også.

Blade fra løvtræer omfatter bl.a. en elmetype, men er sjældne, måske på grund af den lange transport. Et ret stort læderagtigt blad stammer fra den uddøde *Macclintockia* (figur 10-37), som ligner den nulevende slyngplante *Cocculus* fra den overvejende tropiske månefrøfamilie. Det karakteristiske blad findes i andre planteførende aflejringer af omtrent samme alder i Vestgrønland og Vesteuropa. Også blade, som ligner bambus, og blade af land- og vandbregner, har man fundet.

Planterne tyder på varme, men ikke særlig frodige forhold. Landskabet kan have omfattet lavlandsområder med små søer og spredte træer og buske. Nåletræsskove har nok vokset i et højereliggende terræn.



FIGUR 10-36. Slange-stjerner *Ophiura furiae* i cementsten. Foto: C. Heilmann-Clausen.





FIGUR 10-37. Blad af *Macclintockia* i cementsten.  
Foto: H. Madsen.

## Eocæn efter de tidligste lag: det plastiske ler

Efter Stolleklint Lers hedebløge og den knap så varme molertid blev det globale klima igen meget varmt, se figur 10-4. Denne gang skete opvarmningen mere gradvist og kom til at vare meget længere, omkring 10 millioner år. Klimaet i Nordvesteuropa var nu tropisk eller varmt subtropisk og fugtigt. Vegetationen har haft stor lighed med den, man finder i Sydøstasien i dag. Således var de sydlige kyster af Nordsøen dækket af mangrovebevoksninger domineret af *Nypa*-palmen. Bag mangrovesumpene voksede en frodig og meget artsrig regnskov. Varmen kulminerede i begyndelsen af Midt Eocæn.

Som nævnt i indledningen til kapitlet var klimaet ikke blot varmt, men også mere ensartet end i dag, og det var mildt selv ved Nordpolen. Dette ændrede sig i løbet af Sen Eocæn, hvor det efterhånden blev koldt ved polerne, mens det stadig var varmt nær Ækvator. Derved blev det subtropiske klimabælte langsomt trængt sydover og passerede efterhånden det danske område, så klimaet ved slutningen af Eocæn formentlig ikke var meget varmere end i dag. Den langvarige globale afkøling skyldes muligvis, at CO<sub>2</sub>-

indholdet i atmosfæren gradvist aftog. Det er det modsatte forløb af det, vi i dag oplever, hvor CO<sub>2</sub>-indholdet stiger som følge af udslip fra industrien. Man kan sige, at Jordens klima i løbet af Eocæn ændrede sig fra et ensartet varmt *drivhusklima* til en nutidig type klima med tydelige klimabælter. Drivhusklimaet med forhøjet CO<sub>2</sub>-indhold i atmosfæren havde formentlig været fremherskende siden Perm. Men fra slutningen af Eocæn blev det så koldt på Antarktis, at der opstod store iskapper på dette kontinent.

I tiden lige efter aflejring af Ølst Formationen og Fur Formationen er der tegn på en global stigning af havspejlet på over 50 m. Havstigningen var den største siden Kridt eller endnu før og er kendt som *Ypresien*-havstigningen, opkaldt efter det belgiske Ieper (Ypres) Ler, der blev aflejret under denne havstigning. Havet oversvømmede nu de lavtliggende dele af det europæiske kontinent og Sydengland (figur 10-2). Under havstigningen blev der ikke aflejret materiale i måske et par hundrede tusinde år i størstedelen af det danske område. I stedet skete en kemisk udfældning af glaukonitkorn på havbunden, så der de fleste steder blev dannet et 10-20 cm tykt grønsandslag (figur 10-14 og 10-21). Sammenhængen mellem grønsandslag og havstigning er nærmere forklaret i indledningen til kapitlet.

Havstigningen ændrede strømningsmønstret i Nordsøen, først og fremmest fordi der nu blev åbnet en forbindelse til Atlanterhavet via Den Engelske Kanal. Det er derfor ikke overraskende, at lagene lige over det tynde grønsandslag ser meget anderledes ud end de underliggende lag. Geografi, oceanografi og måske klima var foran-

FIGUR 10-38. Det største profil med Rosnæs Ler findes nær Albæk hoved på nordkysten af Vejle Fjord. Lerets intense rødbrune farve springer i øjnene. Farven skyldes iltede jernforbindelser. Se også boks 10-3. Foto: C. Heilmann-Clausen, 1990.

