

Ekskursionsguide til Hinge lergrav

Dansk Geoteknisk Forening

Torsdag 16. juni 2022

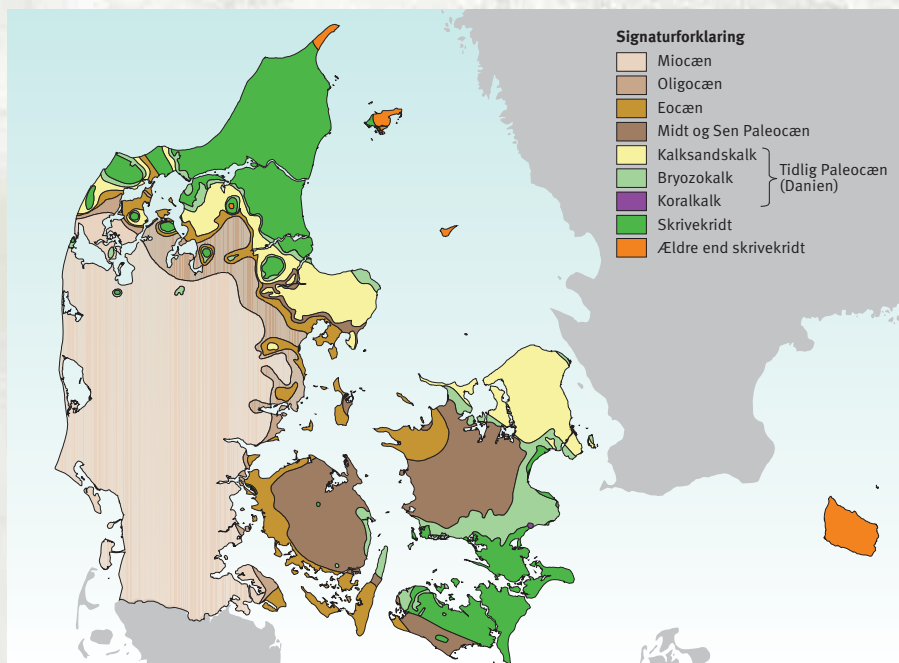
Claus Heilmann-Clausen, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

Side 2-11 er fra *Geoviden* og giver en introduktion til paleogene (nedre tertiære) aflejringer i Danmark og deres miljø. Side 12-20 omhandler lagserien i Hinge lergrav fra midterste del af Paleogen (Eocæn og nederste Oligocæn).

Palæogen - Fra drivhus til Kølehus

I det meste af Palæogen (65–23 mio. år før nu) var det nuværende danske område dækket af et varmt og ret dybt hav. I den første korte tid (de første 5 mio. år) dannedes tykke kalklag, men herefter blev der aflejret en række lerlag, hver med sit særlige udseende og fossilindhold, som vidner om vekslende temperaturer, vanddybder og cirkulation i havet samt om ændringer i afstanden til omliggende landområder. En kortvarig, men intens global varmebølge satte sit præg på et af disse lag. Aske fra vulkanisme i spredningszonen af et nydannet ocean mellem Norge og Grønland samt helt usædvanlig fossilrigdom ses i et andet lag, mens et tredje lag vidner om det måske dybeste hav, som nogensinde har dækket Danmark. Det globalt ensartede, varme drivhusklima afløstes af et moderne, køligere klima i sen Palæogen for ca. 34 mio. år siden. Mægtige iskapper voksede nu op på Antarktis. Det fik stor indflydelse på danske aflejringer i de sidste 11 mio. år af Palæogen.

For ca. 65 mio. år siden slog en 10–15 kilometer stor asteroide ned i Mexico og udløste en global naturkatastrofe. Nedslaget og de efterfølgende sammenbrud af økologiske syste-



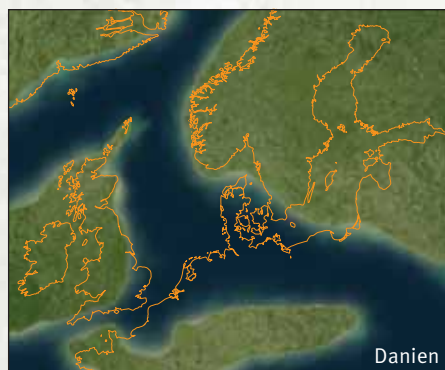
Kort over lag ældre end Kvartær. Nordøst for bællet med palæogene sedimenter (Paleocæn, Eocæn, Oligocæn) er lagene blevet fjernet ved senere erosion. Mod sydvest er de dækket af yngre, miocæne sedimenter.

Illustration: Grafisk, GEUS.

mer, hvorved ca. 75 % af verdens dyrearter (inklusive dinosaurerne) uddøde, er nærmere omtalt i Geoviden 2010 nr. 2. Katastrofen, som er uden senere sidestykke, danner grænsen mellem tidsperioderne Kridt og Palæogen. I Danmark, som de fleste andre steder på kloden, blev der i tiden lige efter nedslaget aflejret et få cen-

timeter tykt lerlag, som er beriget på kosmisk materiale. Lerlaget ses bedst i Stevns Klint, hvor det kaldes Fiskeleret (nærmere omtalt i Geoviden 2008 nr. 4).

På dette tidspunkt befandt Danmark sig så sydligt som Norditalien, mens det bevægede sig langsomt nordover som en del af den euro-



Fordelingen af hav og land på 3 tidspunkter i Palæogen. Kystlinjens placering nord og øst for Danmark er meget usikker og kysten kan have ligget betydeligt længere oppe i Sverige.

Illustration: Stefan Sølvberg, GEUS.

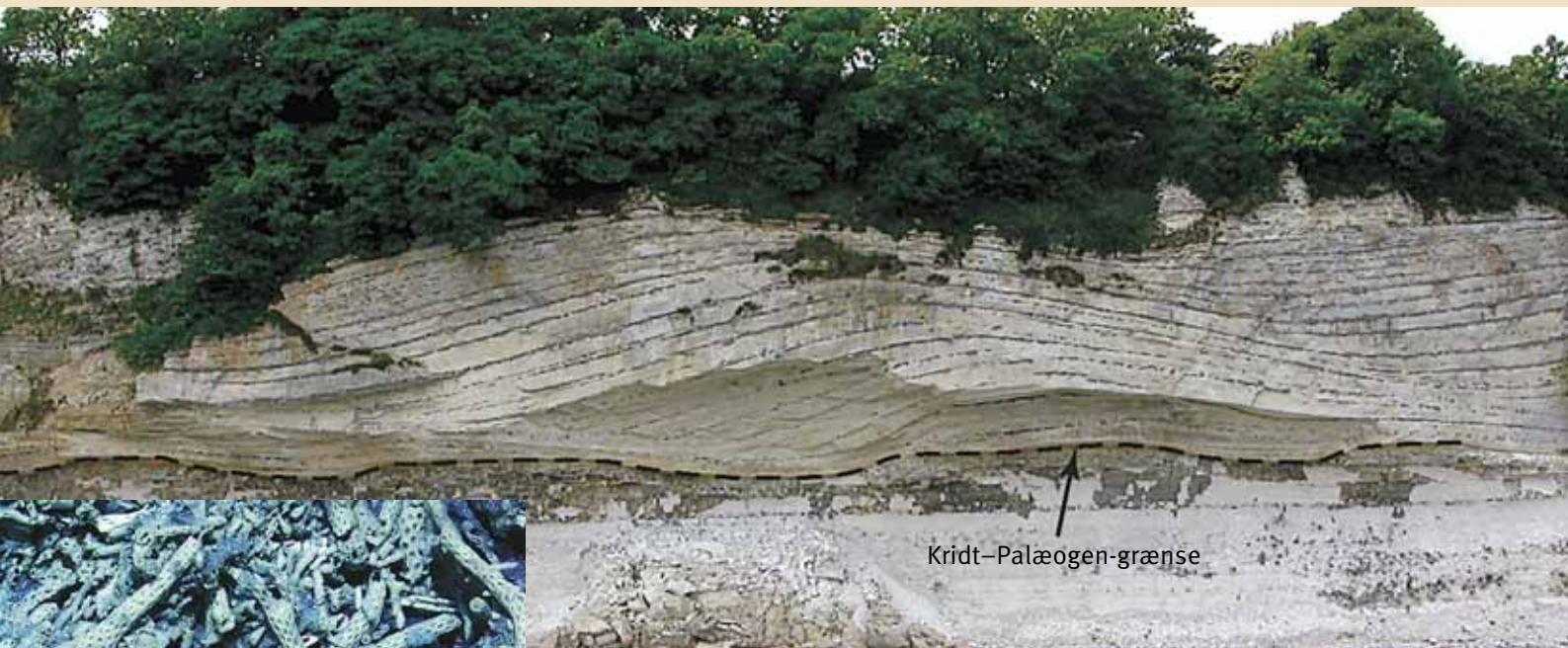


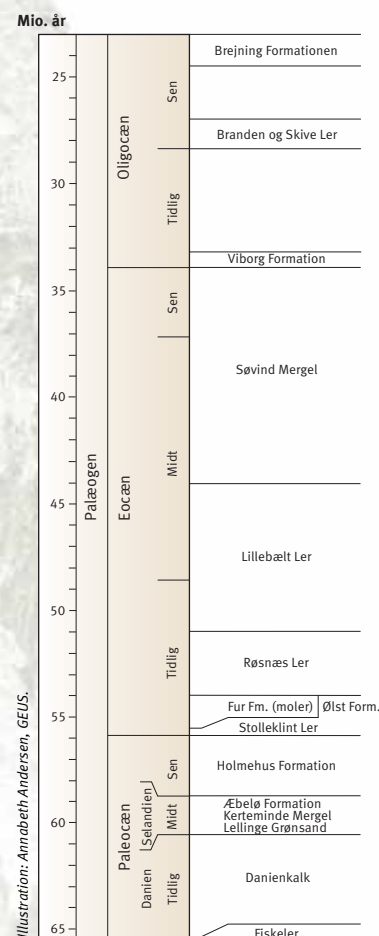
Foto: Morten Bjergager 2003, GEUS.



Foto: Søren Bo Andersen og Erik Thomsen, Aarhus Universitet.

Ovenfor ses Stevns Klint med bryozokalk over Kridt-Palæogen-grænsen. De mørke, buede flintlag aftegner bryozobankernes overflader og viser, hvorledes bankerne med tiden vandrede mod venstre, dvs. mod sydøst. Bankerne er opbygget af bryozokolonier, som ses i nærbillede til venstre (på et stykke kalk, som først er sandblæst og derefter farvet blå).

Geologisk tidsskala med de vigtigste danske aflejringer



asiatiske plade. Det globalt ensartede drivhusklima, som fandtes i Kridt (se forrige nummer af Geoviden 2010 nr. 2), herskede fortsat gennem det meste af Palæogen. I Danmark var klimaet subtropisk til tropisk, men i slutningen af Eocæn blev det koldt ved polerne, og de moderne klimabælter opstod.

Aflejringer fra Palæogen findes i hele Danmark på nær Nordjylland, det sydligste Sjælland, Lolland-Falster og Bornholm. I Midt- og Vestjylland er lagene dækket af yngre jordlag fra Neogen og Kvartær, men i limfjordsområdet, Østjylland, Fyn og Sjælland findes de nær overfladen. Her kan lagene ses mange steder i kystklinter og kalk- og lergrave. De palæogene sediment er alle marine og blev aflejret i en udvidet Nordsø, som dækkede hele det danske område.

DANIE

De første 5 mio. år af Palæogen kaldes Danien-tiden, og er opkaldt efter Danmark. I Danien fortsatte aflejringen af kalksten som i Sen Kridt-tid, og naturforholdene har været omtrent uændrede. Danienkalken er op til 350 meter tyk. En stor del af kalken består af kalkskeletter af små, kolonidannende dyr, bryozoa eller mos-

dyr. Bryozokolonierne voksede på havbunden i et relativt dybt hav, hvor de har dannet 5–10 meter høje banker, se foto ovenfor. Buede flintlag følger bankernes oprindelige overflader og viser, at sydflankerne er stejle. Man kan se på flintlagenes forløb, at bankerne under væksten har flyttet sig sydøstover, formentlig styret af en sydøstfra kommende, varm havstrøm. Strømretningen svarer til den havforbindelse, som, via Ukraine og Sortehavet, forbandt Nordsøen med datidens store varme Tethys Ocean længere mod sydøst. De imponerende, asymmetriske bryozobanker ses tydeligt i klinterne ved Stevns på Sjælland og Karlby på Djursland. Ved Fakse findes et fossilt koralrev som er meget rigt på fossiler af forskellige dyregrupper, der levede på og omkring revet. Danien-tidens havvand har været klart og rent, næsten uden tilførsel af ler fra de tilgrænsende landområder.

Situationen ændrede sig radikalt ved slutningen af Danien. Fra nu af begyndte ler at blive tilført havområdet, og bryozovæksten ophørte. I den 38 mio. år lange, resterende Palæogen-periode blev der næsten udelukkende aflejret ler. Tykkelsen af dette lerlag overstiger 300 meter i Midtjylland.

CLAUS HEILMANN-CLAUSEN

Lektor, Aarhus Universitet
claus.heilmann@geo.au.dk

FRA KALK TIL LER

Rene kalksedimenter blev aflejret gennem hele Sen Kridt og Danien, i næsten 40 mio. år. Ophøret af dette kalkregime i slutningen af Danien afslutter et vigtigt kapitel i aflejningshistorien. Fra nu af blev sedimenterne domineret af ler. Det er ikke helt klart hvilke begivenheder, der ligger bag, men flere faktorer synes at have medvirket til ændringen. Især synes en omfattende hævnning af store dele af det nordatlantiske område og vulkanisme mange steder, bl.a. i Skotland og Irland, at have spillet en vigtig rolle. Vulkanismen og hævnningen formodes at skyldes opvarmning af en dybtliggende skorpe som følge af aktivitet fra en meget stor hotspot – et særligt varmt område i Jordens kappe (hotspot er nærmere beskrevet i Geoviden 2007 nr. 4). Denne hotspot ligger i dag under Island og er årsag til denne vulkanøs opståen. De hævdede områder,

især Skotland og Shetlands-platformen, blev udsat for forvitring og erosion, og store mængder af sand og ler blev tilført Nordsøbassinet, som Danmark var en del af.

En medvirkende årsag til at kalkaflejringen ophørte var, at de hidtil gode havforbindelser til varme oceaner mod syd var blevet indsnævret eller helt afbrudt. Derved blev miljøet mindre gunstigt for væksten af de organismer, hvis kalkskeletter kalksedimenterne består af. I det danske område var havdybden i slutningen af Danien aftaget så meget, at der nok var tørt land nogle steder. Herom vidner blandt andet forekomsten af kalkrullesten, som er rundslidt af bølger. Rullestenene kan ses på flere lokaliteter og stammer fra løse stumper af kalkens overflade, se nederste foto.



Rullesten nederst i Selandien-leret ved Svejstrup. Rullestenene er stykker af Danienkalk, som er brækket løs af havbunden og rundslidt af bølger i havstokken i tidlig Selandien. Efter en havstigning blev de indlejret i ler.

Fra kalk til ler. I en tidligere mergelgrav ved Svejstrup vest for Randers ses grænsen mellem kalk fra Danien og ler fra Selandien. Selve grænsen er ved toppen af spadeskæftet. Den øverste del af kalken fremtræder stærkt 'ormædt'. Det skyldes en mængde gravegange udført af små krebsdyr i Selandien. Gravegangene er siden blevet fyldt med ler, der ses som tynde forgreninger ned i kalken.

Fotos: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.



Foto: Ole Heilmann-Clausen.

Hvor de bløde leraflejringer fra Palæogen forekommer nær terrænoverfladen er lagene næsten altid blevet forstyrrede af Kvartær-tidens gletsjere. På billedet ses foldede lag af Æbelø Formationen fra Selandien (Midt Paleocæn) i en klint på Æbelø ud for Nordvestfyn. Lagene har en stor udbredelse i det meste af Danmarks og den østlige Nordsøs undergrund, men de eneste steder de er blottede er hér og i en klint på Djursland. Den markante stribning skyldes, at nogle af lagene er forkislede. Vekslingen mellem forkislede og bløde lag skyldes sandsynligvis astronomisk betingede klimavariationer.

GRADVIST DYBERE VAND

Lagene over danienkalken er flere steder rige på fossiler, især snegle og muslinger. Fossiler fra disse lag, fra udgravninger i københavnsområdet, blev beskrevet omkring forrige århundredskifte. Undersøgelserne viste, at lagene repræsenterede et geologisk tidsrum, som endnu ikke havde noget navn. Tidsrummet blev derfor navngivet *Selandien*, latin for Sjælland. Selandien er i dag den internationale betegnelse for Midt Paleocæn. Lellinge Grønsand, som lagene kaldes, blev aflejret under en begyndende havstigning, som kortvarigt genskabte forbindelsen til Tethys Oceanet.

Lidt senere i Selandien skete en omfattende hævnning af tidligere indsynkningsområder i Nordsøbassinets nordøstlige randzone i Kattegat, Skåne og andre steder. Store mængder af hævet skrivelag blev eroderet og aflejret i det danske område som tykke mergellag, Kerteminde Mergel. Op til 50 % af materialet i Kerteminde Mergel kan bestå af omlejret skrivelag.

Vanddybden over det danske område øgedes fortsat gennem resten af Midt og Sen Paleocæn samtidig med at Nordsøbassinets forbindelse til sydlige have atter blev afbrudt. Dybere, køligere og surt bundvand førte nu til, at mergellagene blev afløst af Æbelø Formationens kalkfattige lerlag. Da havet var dybest, måske 3–400 meter, blev der meget langsomt aflejret stærkt farvede og meget finkornede lerlag, som næsten kun består af lermineralet

smectit. Det er Holmehus Formationen, hvis kulørte lag er udbredt i det meste af Nordsøen. Holmehus Formationen er et eksempel på, at den palæogene lagserie i Danmark har meget større lighed med den centrale Nordsø end med samtidige aflejringer i Tyskland, England og Belgien.

Den store øgning af vanddybden gennem Midt og Sen Paleocæn skyldes sandsynligvis indsunkning på grund af afkøling af dybtliggende jordlag i denne periode, hvor Den Islandske Hotspot var mindre aktiv.

I den seneste del af Paleocæn mindskedes vanddybden atter, sandsynligvis på grund af fornyet aktivitet fra Den Islandske Hotspot.

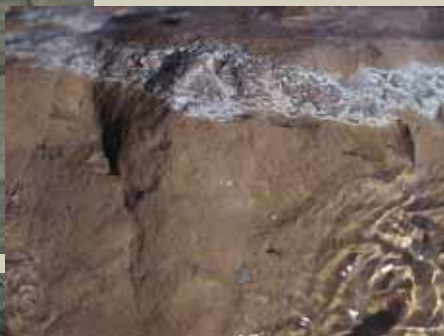
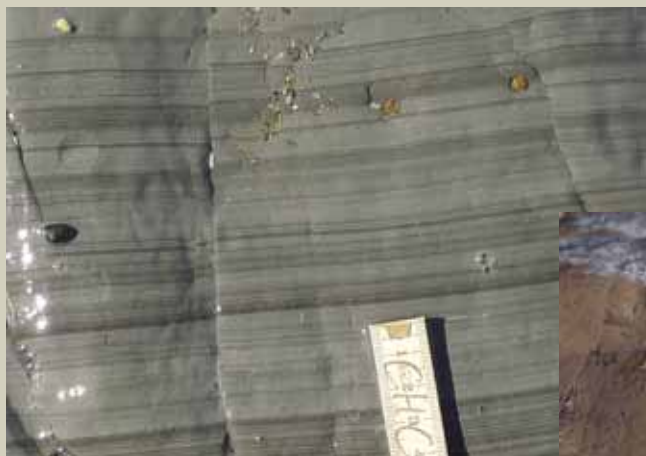
GLOBAL HEDEBØLGE, NORDØSTATLANTISK VULKANISME OG DANNELSEN AF ET NYT OCEAN

Ved Paleocæn–Eocæn-grænsen blev Jorden udsat for en voldsom hede-bølge, som anslås at have varet ca. 170.000 år. Fra ækvator til polerne steg temperaturen mindst 5° C på under 10.000 år. En kraftig forskydning af kulstofisotoper viser, at en kolossal mængde kulstof beriget på den lette ^{12}C isotop, mindst 1.500 gigatons, blev tilført oceaner og atmosfære. Samtidig forsures verdenshavene som efter et gigantisk tilskud af kuldioxid. Kulstofudslippet under denne ekstraordinære klimabegivenhed var af samme størrelsesorden som den aktuelle og forventede udledning fra afbrænding af fossile brændsler. Begivenheden, som er blevet døbt PETM (Paleocene–Eocene Thermal Maximum), og dens virkninger for dyre- og planteliv er selvsagt genstand for intensiv udforskning. Den hidtil mest accepterede forklaring går ud på, at PETM-opvarmningen skyldes udslip af drivhusgasserne metan og kuldioxid stammende fra kulstoflagre, som mange steder findes nede i havbundens sedimenter i form af det isagtige stof metanhydrat. Denne forklaring forudsætter imidlertid en første opvarmning, som kunne starte smeltningen af metanhydrat fra havbunden. Nye undersøgelser tyder faktisk på, at opvarmningen begyndte få tusinde år før kulstofudslippet. Uanset hvad den udløsende årsag var, og om kulstoffet kom fra metanhydrat eller andre foreslåede kilder, er der ingen tvivl om, at et gigantisk udslip af drivhusgas fandt sted og sandsynligvis har været afgørende for hede-bølgens omfang.

PETM-begivenheden fik alvorlige følger for Jordens dyre- og planteliv. Blandt pattedyrene på landjorden skete meget store forandringer. Gamle pattedyrgrupper, som dominerede før PETM, gik nu stærkt tilbage eller forsvandt helt. I amerikanske aflejringer har man fundet de første arter af en række moderne grupper, bl.a. hovdyr (med de første heste) og egentlige primater (med abernes og menneskets forfædre) i PETM lagene. Disse nye grupper kom hurtigt til at dominere faunaerne. Dværgvækst var udbredt under PETM, muligvis en tilpasning til en atmosfære med forøget kuldioxid indhold.

I oceanerne fandt en masseuddøen af bundlevende dybvandsforaminiferer sted. Det var den mest omfattende uddøen siden midten af Kridttiden. I de kystnære havområder dominerede en enkelt alge, dinoflagellaten *Apectodinium*, som både tålte varme, brakvand og et øget næringsindhold.

PETM er muligvis præcis samtidig med starten på en kortvarig, meget intensiv vulkansk episode i det dengang smalle bælte mellem Grønland og Nordvesteuropa. Det er derfor blevet foreslået, at den første opvarmning skyldes drivhusgasser, som blev udledt i forbindelse med vulkanismen. Vulkanismen resulterede i udstrømning af en kolossal serie af basaltiske lavaer med en samlet tykkelse på over 5 km i det centrale Østgrønland. Vulkanismen menes at stamme fra fornyet aktivitet fra Den Islandske Hotspot og var igen ledsaget af landhævninger. Nordsøen skrumpede ind til et sølignende indhav med en lang smal arm, som strakte sig mod nord mellem Grønland og Norge. I dette indelukket hav, med dybder over hundrede meter, blev bundvandet fuldstændig iltfrit, sikkert som følge af tilstrømning af fersk flodvand, som hæmmede

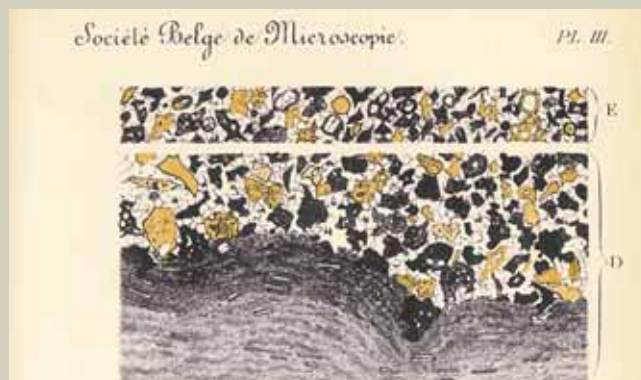


Ved lavvande og stranden fri for sand kan man se fine detaljer i de palæogene sedimenter. Kontrasterende havmiljøer i begyndelsen af Eocæn illustreres af det fint lagdelte Stolleklint Ler (til venstre) aflejret i iltfrit havvand i en indskrumpet Nordsø med dårlig cirkulation. Til højre ses det lidt yngre Røsnæs Ler fra en stærkt udvidet Nordsø med god cirkulation. Grave-gange og rød farvning viser at havbunden var iltfrig.



Ved Stolleklint (Fur) ses overgangen fra det sorte Stolleklint Ler, aflejret under den globale PETM-varmekrise, til det hvidlige moler, som er aflejret i perioden lige derefter. Ved pilen ses askelag nr. -33; et af de nederste af ca. 180 vulkanske askelag fra den nordøstatlantiske vulkanisme.

Fotos: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.



Kilde: W. Printz, 1885.

Askelagene blev identificeret af en belgisk diatoméforsker i 1885. Et udsnit af en af hans illustrationer viser et askelag (øverste) aflejret ovenpå et lag af moler med diatoméer (nederste del af D). Askepartiklerne består af skarpkantede korn fyldt med små gasblærer. Forstørret ca. 30 gange.



Foto: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.

Foldet moler fra molergraven ved Skarrehage på Nordmors. Den 'positive askeserie' ses som tynde sorte striber.



Et par af molerets og Stolleklint Lerets mange exceptionelle fossiler. Kæmpeskøjteløber, *Palaeogerris grandis*, kropslængde 3,1 cm. Havskildpadde, danekræ nr. 567, 10,5 cm lang.

Fotos: Henrik Madsen.



opblanding med det tungere, salte bundvand. Sedimenterne var derfor uforstyrrede af bunddyr og bølgebevægelser, og den oprindelige, meget fine lagdeling er derfor bevaret. Havet dækkede stadig dele af Danmark, og her blev det op til 14 meter tykke Stolleklint Ler med *Apectodinium* alger aflejret i løbet af PETM. Leret kan ses på Fur og Mors og i de store lergrave ved Ølst og Hinge nær Randers.

Kort tid efter PETM ændrede vulkanismen karakter og blev ekstremt eksplosiv, og der blev nu udspjttet uhyre mængder vulkansk aske ved udbrud, som nok har været hyppige. Asken er basaltisk, af en oceanisk type, som også findes i Island. Noget af asken faldt ned i Tethys Oceanet 2000 km væk, i det nuværende Østrig. Det tykkeste af askelagene stammer fra et af de største vulkanske udbrud, som overhovedet er registreret i Jordens historie (i den højeste eksplosivitetsklasse, VEI 8, med over 1000 km³ aske), og to andre udbrud skønnes at have produceret omkring 500 km³ aske. Til sammenligning producerede det største udbrud i historisk tid, Tambora i Indonesien, 150 km³ aske i 1815. Måske har støv og aerosol fra disse vulkaner bidraget til den globale afkøling, som indtraf efter PETM.

Askelagene er bedst kendt fra Danmark, og det er også her, de først blev opdaget. De udgør de øverste ca. 140 lag, den såkaldt *positive serie*, af i alt 179 nummererede askelag, som oprindeligt blev mineralogisk beskrevet i en afhandling af den danske geolog Bøggild i 1918. De op til

20 cm tykke, sorte askelag ses allerbedst i Fur Formationens lyse moler i limfjordsområdet.

Samtidig med den vulkanske aktivitet indtraf en vigtig pladetektonisk begivenhed. En rift åbnede sig i området mellem Grønland på den nordamerikanske plade og Norge på den euroasiatiske plade. Basalt strømmede ud i riften, som udvidede sig med 4 cm om året, sank ned og blev begyndelsen på det nordøstlige Atlanterhav. Riften er nu en del af den midtatlantiske ryg, der går gennem Island. Vulkanerne lå på lavt vand i selve sprækkezonen, og måske var det nærkontakt mellem magma og vand, der var årsag til udbruddenes ekstremt eksplosive karakter.

Det lyse, lette moler med de vulkanske askelag er en såkaldt diatomit, som mest består af mikroskopiske kiselskeletter af diatomé-alger. Moleret findes kun i et smalt bælte syd og sydvest for Norge og kan ses i prægtige klinger i det vestlige limfjordsområde. Dannelsen af diatomit i dette bælte skyldes sandsynligvis fremherskende nordlige vinde, som førte til opstigende næringsrigt vand et stykke fra den norske kyst. De planktoniske diatomé-alger har kunnet formere sig så kraftigt i det næringsrige vand, at de blev bjergartsdannende. Moleret er rigt på velbevarede fossiler, især af fisk, insekter og fugle. Fuglene i moleret udgør en af verdens rigeste fossile fuglefaunaer. Faunaerne hvoraf i al fald fisk og insekter har et moderne præg er af særlig interesse, fordi de daterer sig til perioden lige efter PETM.

I de store lergrave ved Hinge og Ølst syd for Randers kan man se store dele af den palæogene lagserie. De to personer står ved toppen af den grå Ølst Formation, som indeholder de samme vulkanske askelag som moleret. De overliggende grønne og brune lag er Røsnæs Leret, som er nederste del af det eocæne plastiske ler.

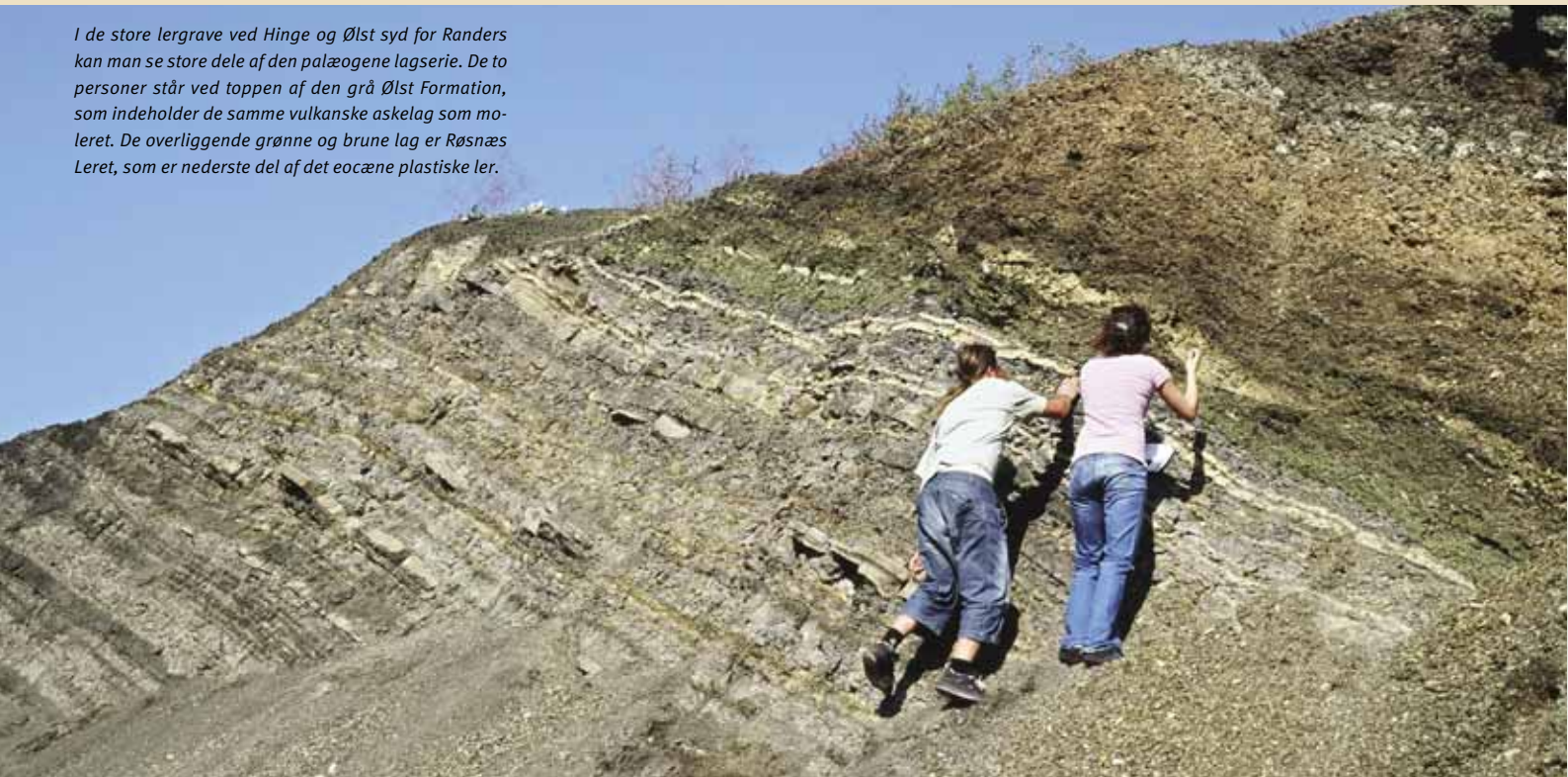


Foto: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.

DET FINKORNEDE PLASTISKE LER FRA EOCÆN

Efter den begivenhedsrige første million år af Eocæn (se boks side 6 og 7) fortsatte riftzonen i det nordøstlige Atlanterhav med at synke ned, og aktiviteten i den underliggende hot-spot synes nu også at være aftaget, med yderligere indsynkning som resultat.

Vanddybden i det danske område er muligvis øget til så meget som 600–1000 meter,

måske det dybeste vand, som nogensinde har dækket Danmark. I det dybe hav blev næsten intet materiale tilført fra landområder, og der skete kun en langsom bundfældning af ekstremt finkornet, såkaldt **plastisk ler**. Miljøet har været omtrent det samme, som da Holmebusler blev aflejret i Sen Paleocæn. Det ofte stærkt farvede plastiske ler ligner aflejringer i den centrale Nordsø, og Danmark er det eneste sted, hvor disse dybvandssedimenter kan

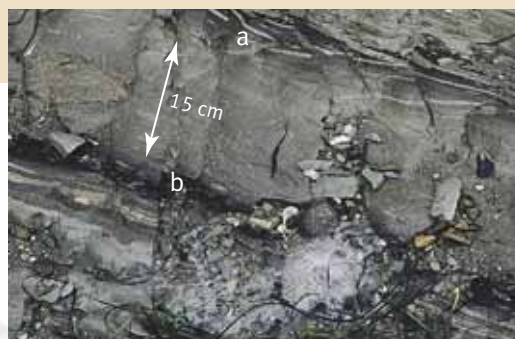
ses på land. Det globale havspejl var højt i det meste af Eocæn, og den totale mangel på sand i aflejringerne hænger sammen med den øgede afstand til landområder og de generelt rolige geologiske forhold i denne periode. Landene omkring Nordsøen har formentlig haft et ret jævnt terræn og var dækket af frodige tropiske–subtropiske skove, som hindrede erosion. Der fandtes sandsynligvis bæltter af mangrove langs de sydlige kyster.

Plastisk ler fra lergraven ved Ølst. Leret er så finkornet at friske graveflader fremtræder skinnende blanke.

Foto: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.



Tynde sorte organiske lerlag (a og b) fra overgangen mellem Røsnæs Ler og Lillebælt Ler vidner om periodisk ilt-svind i Nordsøen for 50 mio. år siden. Det øverste sorte lag på fotoet er gennemkrydset af gravegange med lyst materiale. De er lavet efter at bundvandet igen var blevet iltholdigt og bunddyrene vendt tilbage.



Hajtænder er blandt de almindeligste fossiler i Lillebælt Leret. Tanden her er ca. 4 cm lang.



Fotos: Claus Heilmann-Clausen, Aarhus Universitet.

Det plastiske ler er rigt på lermineralet smectit, som er dannet ved kemisk nedbrydning af vulkansk aske og lava, der var vidt udbredt i det nordøstatlantiske område. Omdannelsen til smectit kan være sket både i havet og på land, og smectitten kan være transporteret over lange afstande med havstrømmene.

Flere gange i løbet af Eocæn skabte det høje vandspejl passage fra Nordsøen til varmere have mod syd, bl.a. gennem Den Engel-

ske Kanal. Der er en tendens til, at lerlagene blev kalkholdige, når de sydlige forbindelser eksisterede, mens mikroorganismernes kalkskeletter blev opløst i koldere, surt bundvand, når disse forbindelser var afbrudt. Det dybe hav eksisterede gennem resten af Eocæn – i næsten 20 mio. år, og op til 200 meter plastisk ler blev aflejret i Danmark, hvilket i gennemsnit svarer til en aflejringsrate på mindre end 1 mm/100 år.

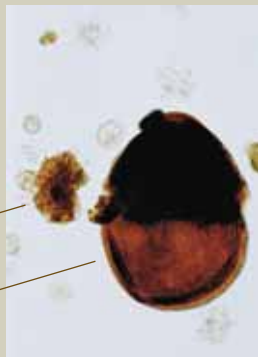
Den 6 km lange kyststrækning af Trelde Næs nord for Fredericia er Danmarks længste og mest imponerende skredkyst. De udskridende lermasser består af Lillebælt Ler, som udgør hovedmassen af det eocæne plastiske ler.



ET GÅDEFULDT LAG MED FERSKVANDSPANTER LANGT UDE I HAVET



Klump af hanlige sporer.



Hunlig spore.

Fotos: Claus Hellmann-Clausen, Aarhus Universitet.

Vandbregnen *Azolla* har et interessant sexliv. Ved den kønnede formering frigives store hunlige og små hanlige sporer til vandet, og der finder sporerne hinanden på en helt speciel måde. De hanlige sporer optræder i klumper, som er udstyret med ankerlignende kroge, der kan hægte sig fast i det filtagtige, yderste lag af den hunlige spore. Herefter sker befrugtningen.

Mikrofossiler i et tyndt, 48 mio. år gammelt lag af det eocæne plastiske ler vidner om en mærkelig begivenhed i det Arktiske Ocean, tre tusinde kilometer væk. I Eocæn var Nordpolen og Jordens nordligste egne dækket af det Arktiske Ocean ligesom i dag, men i Eocæn var vandmassen i dette ocean næsten helt isoleret fra andre oceaner. Som følge af øget

nedbør og et stort globalt fald i havspejlet, som yderligere afskar de snævre forbindelser til andre oceaner, blev hele polarhavet periodisk dækket af et lag af ferskvand i et geologisk kort tidsrum på omkring 1 mio. år.

Det ferske vand blev afsløret, da man fandt en kolossal mængde sporer af vandbregnen *Azolla* i den eneste dybe boring, som det er lykkedes at bore i det isdækkede ocean nær Nordpolen. Arter af *Azolla* er i dag vidt udbredt i tropiske og subtropiske områder, men de kan kun leve i ferskvand. *Azolla* er en af de hurtigst voksende organismer i verden. Det er en frit flydende vandplante der (ligesom andemad) hurtigt kan dække overfladen af søer og damme. Ved den kønnede formering frigives sporer (som kan bevares fossilt) til vandet. De eocæne *Azolla* sporer findes ikke kun i det isolerede Arktis, men også i talrige borer fra havet mellem Grønland og Norge og helt ned til Nordsøen, hvor det dog er en anden art end i Arktis. Det sydligste sted, og samtidig det eneste sted, som i dag er på land, er Danmark. I de eocæne lag fra disse have findes *Azolla*-sporerne sammen med mikrofossiler af saltvandsalger, og de er ikke så hyppige som i Arktis. Derfor er det usandsynligt, at disse havområder også var dækket af ferskvand. Måske har planterne vokset i søer i de omkransende landområder, hvorfra deres sporer kan være ført til havs via floder. Dog ville man forvente, at floderne så også skulle have medbragt en mængde træstykker og andet plantemateriale, som så også burde findes i *Azolla*-laget, men det er ikke tilfældet! En god forklaring på det vidt udbredte fænomen savnes derfor stadig.

AFSLUTNINGEN AF DRIVHUSKLIMAET OG BEGYNDELSEN PÅ DET MODERNE KØLEHUS-KLIMA

Mod slutningen af Eocæn blev drivhusklimaet, som havde hersket på Jorden siden slutningen af Perm, afløst af den nutidige klimatype med kolde poler. Der dannedes nu iskapper, især på Antarktis, og det førte til et globalt havspejlsfald, som atter afbrød Nordsøens forbin-

delser til de sydlige have. Også i det danske område blev det væsentligt køligere i begyndelsen af den følgende Oligocæn periode, dog synes klimaet stadig at have været noget varmere end i dag. Kortvarige klimaændringer har lige siden ført til skiftende vækst og afsmeltning af de antarktiske iskapper, og til fald og stigninger af havspejlet.

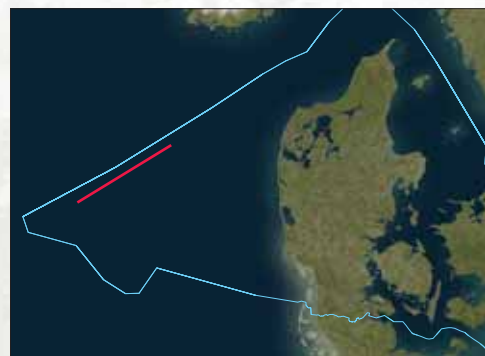
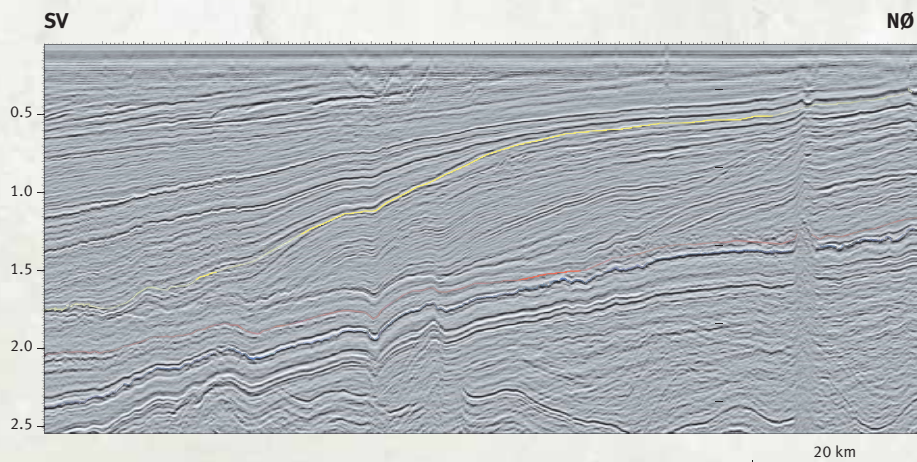


Illustration: Stefan Sølvberg, GEUS.



Seismisk profil, som viser lagserien ned til ca. 2,5 kilometers dybde langs den røde linje på kortet. Den kraftige blå reflektor viser toppen af kalk fra Kridt og Danien, den røde reflektor svarer til toppen af det eocæne plastiske ler og den gule reflektor er ca. ved toppen af Oligocæn. De Oligocæne lag er op til 1000 meter tykke og viser en kraftig øgning i materialetilførslen i forhold til Eocæn. Det er ligeledes tydeligt, at de Oligocæne lag byggede sig ud mod sydvest og at kilden for materialet lå mod nordøst. Dybdeskalaen er overhøjet for at tydeliggøre aflejningsmønsteret.

Kilde: Claus Hellmann-Clausen, Aarhus Universitet.



Ved Dykær i udkanten af Juelsminde kan man sommetider se den sorte fossilrige Brejning Formation fra et lavvandet hav i seneste Oligocæn. Leret hviler direkte på 20 mio. år ældre lag af Søvind Mergel fra et dybt hav i Midt Eocæn.

Fotos: Claus Hellmann-Clausen, Aarhus Universitet.

Snegl, *Fusiturris selysii*, fra Brejning Formationen. Længde 64 mm.



Et af de tykke Oligocæne mudderlag fra Midtjylland er Skive Leret, som kan ses i en lergrav ved Hesselbjerg syd for Skive. Der tages her prøver for at fastslå den nøjagtige alder.

Samtidig med klimaændringen ved overgangen fra Eocæn til Oligocæn hævedes lokale områder flere steder i Nordvesteuropa. Hævnin- gernerne skyldes pladetektoniske spændinger i forbindelse med dannelsen af Pyrenæerne. Det diskuteres blandt geologer, om den sydlige del af Norge også blev hævet på dette tidspunkt.

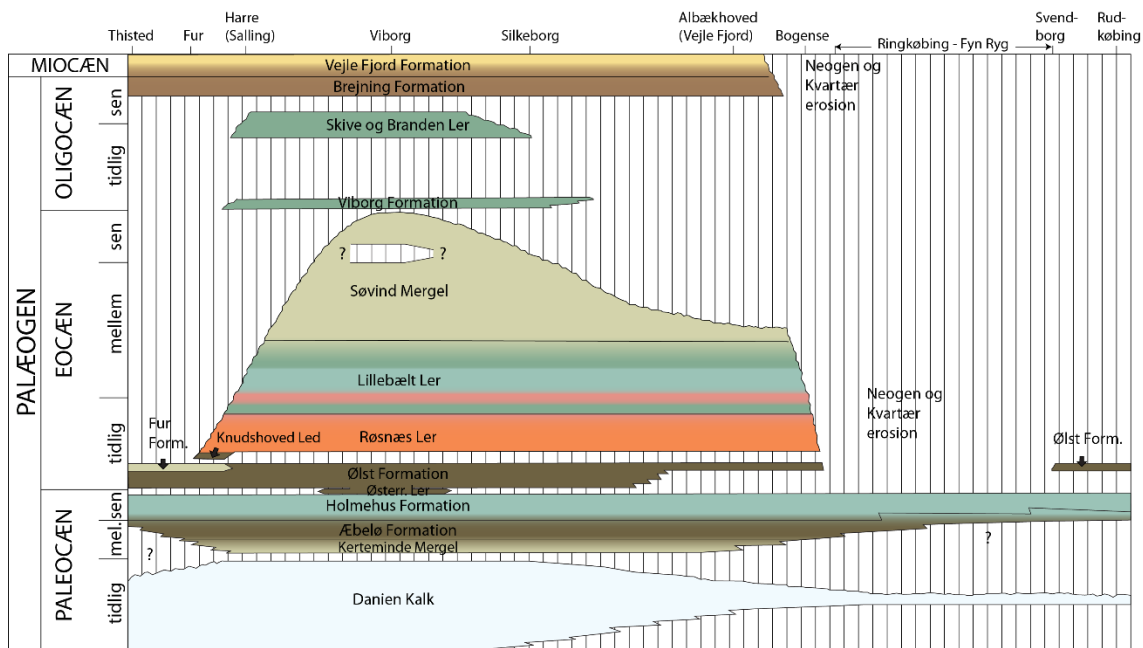
Klimaforandringen og den mulige norske hævnin- g førte til en fuldstændig ændret situation i det danske område. Den hidtidige, ensartede aflejring af fint ler i Nordsøbassinet blev

i Oligocæn afløst af periodiske udbygninger med tykke mudder- og sandlag i den nordøstlige del af Nordsøen, langs den norske sydkyst. Materialet stammer fra tørlagt havbund og fra det norske landområde, som nu var udsat for betydelig erosion. I de koldeste perioder blev hele det danske område sandsynligvis tørlagt og eroderet, mens der i de lidt varmere perioder blev aflejret tykke marine sedimenter i Midtjylland. Fra det meste af Tidlig Oligocæn, hvor det globale klima var koldest, findes næsten ingen danske aflejringer.

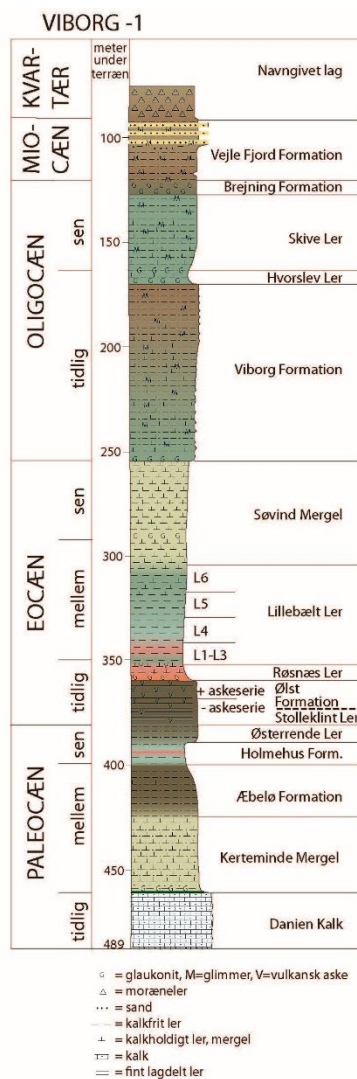
I Sen Oligocæn blev det globale klima igen midlertidigt varmere, og dele af Danmark blev atter oversvømmet. Flere til dels ganske tykke havaflejringer i Jylland og på Vestfyn stammer fra denne tid.

Her kan man læse mere: *Naturen i Danmark, Geologien*. Gyldendal 2006, samt: *Danekræ, Danmarks bedste fossiler*. Gyldendal 2008.





Figur 2. Kronostratigrafi af ældre Tertiær.



Figur 3. Den tertiære lagsøjle i Viborg-1 boringen.

Hinge lergrav, 9 km syd for Randers

I to store lergrave beliggende på hhv. øst- og vestsiden af Ølst Bakke har man siden 1953 gravet ler (primært eocænt plastisk ler), som benyttes til fremstilling af letklinker, *Leca* (forkortelse for *light expanded clay aggregates*). Gravning i den østlige grav ved Ølst er ophørt for godt 11 år siden, men foregår stadig i den vestlige grav ved Hinge.

Leca-letklinkerne fremstilles på fabrikken overfor Hinge lergrav. Det sker ved tilsætning af et opblærmingsmiddel, som vales ind i råleret, som derefter opvarmes til 1150 °C i rotérovne af samme type som bruges ved cementfremstilling. Ved opvarmningen dannes små, delvis opsmeltede, slaggeagtige kugler fyldt med gasblærer, som derved bliver meget lette og holdbare. For at processen kan lykkes, skal råleret indeholde et vist minimum af lermineralet smectit, og må ikke indeholde ret meget kalk, silt eller sand.

Gennem de mange års gravning har Danmarks stratigrafisk mest omfattende lagserie fra Tertiær været blottet i de to lergrave (Fig. 11 og 12). Lagserien er stort set identisk i de to grave og spænder over 7 formationer, alle af marint ler, aflejret i perioden fra sen Paleocæn til sen Oligocæn. Lagserien i Ølst Bakke er intenst deformeret som følge af isfremstød fra hele tre forskellige retninger (Fig. 9). På grund af deformationen af lagserien er det varierende, hvilke lag, der er blottet på et givet tidspunkt.

Hovedmassen af lagserien i Ølst Bakke består af det ekstremt finkornede, smectitholdige eocæne **plastiske ler**, som omfatter **Røsnæs Ler** (overvejende rødt og kalkholdigt), derover **Lillebælt Ler** (kalkfrit i nedre del, med indslag af kalkholdige lag i øvre del) og øverst den lysegrå **Søvind Mergel**. For tiden kan dele af alle tre formationer ses. Det plastiske ler overlejres af **Viborg Formationen** fra tidlig Oligocæn, som også er delvis blottet for tiden. I modsætning til det underliggende plastiske ler indeholder Viborg Formationen finkornet glimmer og en betydelig andel af grovsilt.

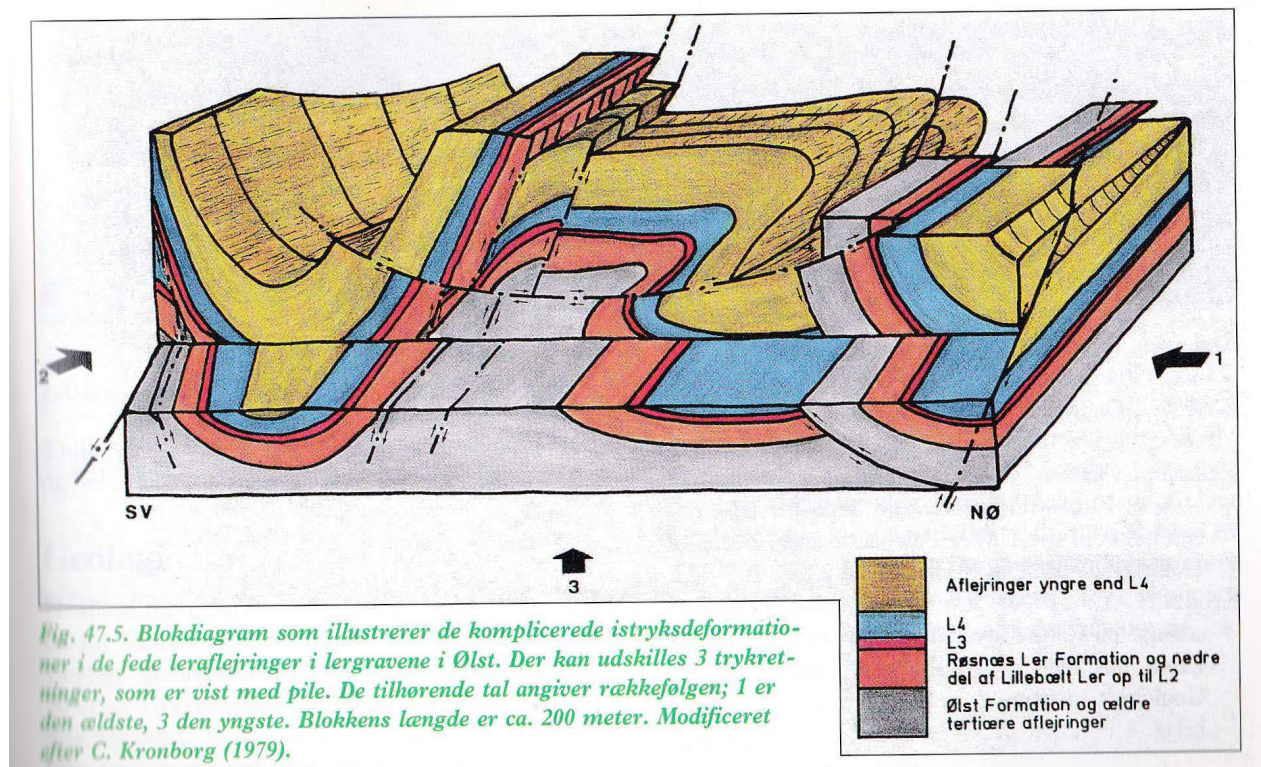
De ældste lag, som i dag er eksponeret i Hinge lergrav, er **Ølst Formationen** og **Stolleklint Leret** fra det ældste Eocæn (Fig. 10). Stolleklint Ler er et uformelt navn indført af Heilmann-Clausen (1995) for den nederste del af Ølst Formationen (se Fig. 10). Laget forventes i nær fremtid at blive udskilt som en selvstændig Stolleklint Formation, og her i guiden vil det derfor blive omtalt som en separat formation.)

Det 15 meter tykke **Stolleklint Ler** er aflejret under en ca. 170.000 år lang global varmebegivenhed, benævnt *Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM)*, som fandt sted i starten af den Eocæne Epoke (PETM-begivenheden er nærmere omtalt i Geoviden 2010 nr. 3). Stolleklint Leret kan kendes på en meget fin lamination og indeholder i modsætning til Ølst Formationen kun meget få, tynde askelag. Det er rigt på pyrit og til dels også organisk kulstof. Laminationen vidner om en dårlig cirkulation i vandmassen med overvejende iltfrit bundvand; en situation, som gjaldt hele Nordsøbassinet.

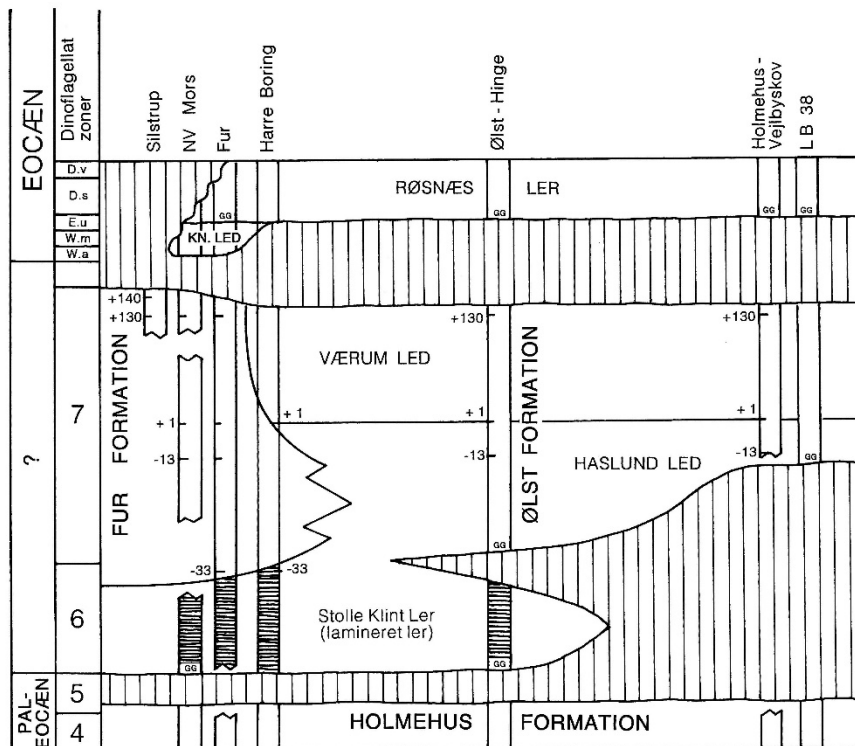
Stolleklint Leret overlejres af **Ølst Formationen**, en leraflejring, som indeholder det meste af en berømt succession af ca. 180 vulkanske askelag. Askelagene blev først erkendt i en diatomit fra limfjordsområdet (se Fur), og deres mineralogi blev beskrevet af Bøggild allerede i 1918. De enkelte askelag kunne identificeres fra lokalitet til lokalitet ved Limfjorden (senere også i andre områder i og udenfor Danmark), og Bøggild nummererede derfor askelagene. De blev inddelt i en nedre **negativ serie** med overvejende tynde og spredtliggende lag af vekslende mineralogisk sammensætning (med numrene -1 til -39) og en øvre **positiv serie** med tykke og tætliggende sorte lag næsten alle af basaltisk sammensætning (nr. 1 til 140).

Udenfor limfjordsområdet, og dermed også i Hinge lergrav, findes denne askeserie i den lerede Ølst Formation. Her er de enkelte askelag bentonitiserede, dvs. det vulkanske glas er delvis omdannet diagenetisk til smectit. Derimod er glasset velbevaret i askelag fra limfjordsområdets diatomit. Her er

glasset formentlig blevet beskyttet mod nedbrydning i det kiselrige porevandsmiljø. Askeserien er nærmere omtalt under Fur lokaliteten.



Figur 9. Glacialtektonik, Ølst Lergrav. Fra Larsen og Kronborg (1994).



Figur 10. Aflejringer fra Paleocæn-Eocæn overgangen. P/E grænsen vides nu at være under Stolleklint Leret. Fra Heilmann-Clausen (1995).

FORMATION	BED	MEMBER	m	LITHOLOGY	
SØ - VIND MAAL FORM.	VIBORG CLAY	GRUNDFØR CLAY	50	increasing silt content	
			45	Grey-green silty clay, clauconitic at base	calcareous
	LILLEBÆLT CLAY FORM.	L 6	40	Pale grey marl, slightly silty	calcareous
			35	Brownish-grey calcareous clay with thin beds of slightly calcareous clay. Carbonate concretions in lower part	mainly calcareous
			30		
			25	Dark grey-green clay, slightly silty. With phosphatic concretions. Glauconitic intervals in the central part	slightly calcareous and non-calcareous
		L 4	15	Green clay with brown beds in upper part. Bands of carbonate concretions. Scattered barytes concretions	
			10	Red-brown clay	
		L 3	5	Grey-green clay	
		L 2	0	Red-brown clay	
RØSNÆS CLAY FM.	VÆRUM MEMBER	Beds R1 to R6	0	Mainly red-brown clay with green ash beds	mainly calcareous
			-5	Mainly laminated dark grey silty clay with carbonate concretions and numerous thick silty ash beds	
	ØLST FORM.	HASLUND MEMBER	-10	Mainly laminated, olive-black, silty clay with very few thin ash layers. In the upper part non-laminated, partly silicified beds and more frequent ash layers occur.	non-calcareous
			-15		
			-20		
			-25		
	HOLMEHUS FORM.		-30	Green clay, glauconitic at top	non-calcareous

Figur 11. Den Paleogene lagserie fra Hinge. Fra Heilmann-Clausen m.fl. 1985.

FORMATION	BED	MEMBER	m	LITHOLOGY	
RØSNÆS CLAY FM.	LILLEBÆLT CLAY FORM.	L 4	8	Greenish non-calcareous clay with concretionary bands 1-2 m. above the base.	
			7	Red-brown non-calcareous clay. A yellowish bioturbated bed with carbonate concretions near the middle of the member.	
	L 3		6		
			5	Grey-green non-calcareous clay with 4 ash beds, 2-20 mm. thick. In the lower part with beds and lenses of black clay rich in fish-debris.	
	L 2		4		
			3	Red-brown non-calcareous clay with 3 ash beds.	
	L 1		2	Pale grey calcareous clay w. black streaks. Bioturbated.	
			1	Brown calcareous clay, bioturbated, w. 3 green ash beds.	
	R 6		0	Dark brown, slightly calcareous clay with 6 green ash beds, 10-30 mm. thick.	
			-1	Yellowish gritty marl, bioturbated w. an ash bed at the base.	
ØLST FORM.	VÆRUM MEMBER		-2	Dark brown clay, slightly calcareous and glauconitic.	
			-3	Greenish non-calc glauconitic clay.	
	R 5		-4		
			-5		
			-6		
			-7		
	R 4		-8		
			-9		
			-10		
			-11		

Figur 12. Røsnæs Ler og nedre del af Lillebælt Ler ved Hinge. Fra Heilmann-Clausen m.fl. 1985.

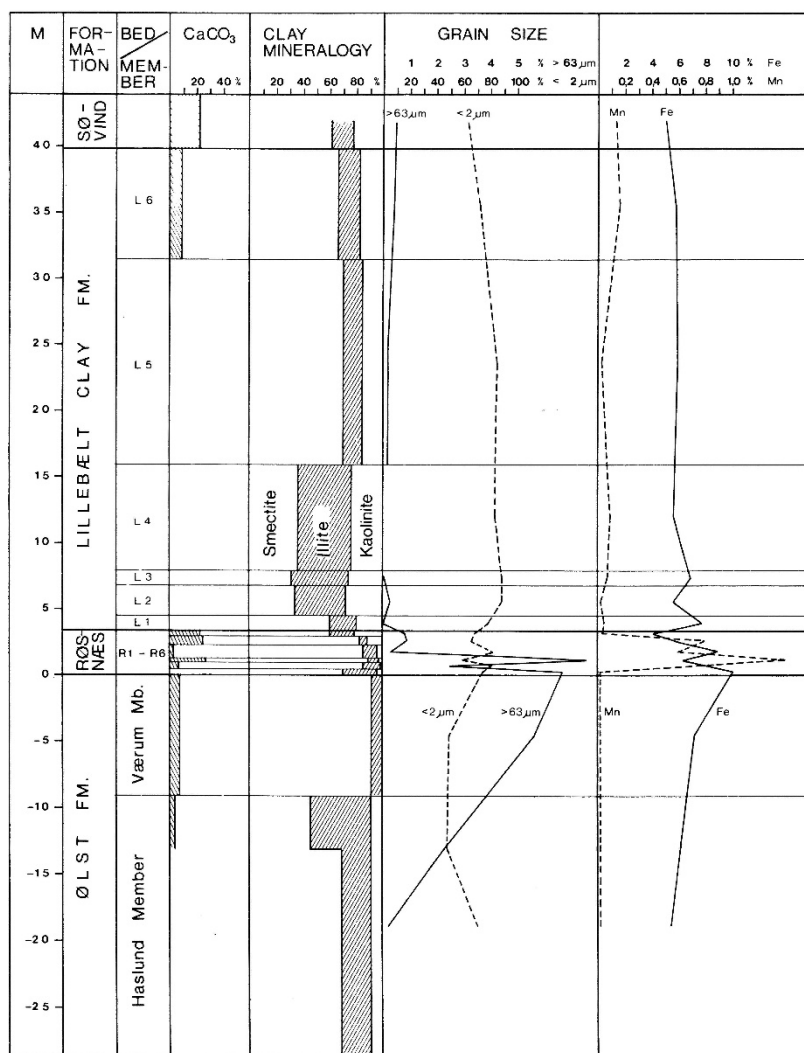
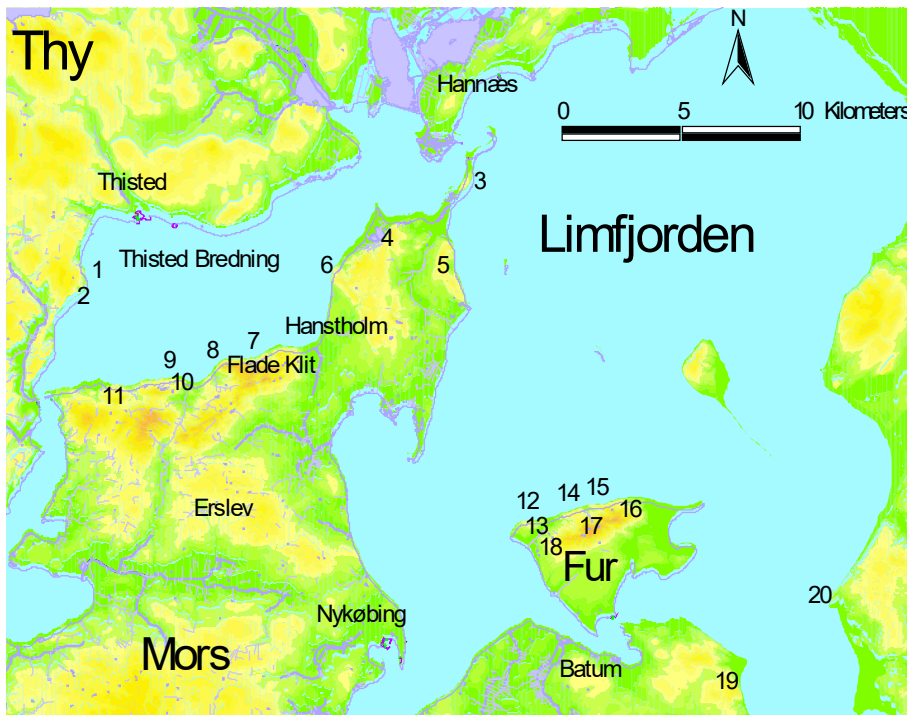


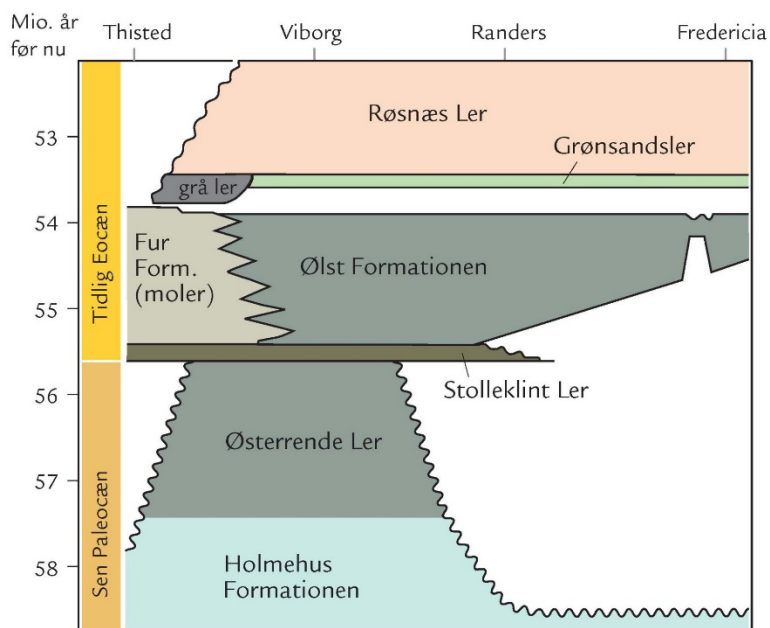
Fig. 21. Lermineralogi, kornstørrelsesfordeling og kemisk sammensætning af formationer ved Ølst. Fra Heilmann-Clausen m. fl. (1985).

Figur 13

I nogle af blotningerne af Fur Formationen kan man se det underliggende, fint laminerede **Stolleklint Ler**, som også kunne ses i Hinge lergrav. Som nævnt blev Stolleklint Leret aflejret i starten af Eocæn under den 170.000 år lange PETM-varmeperiode. Stolleklint leret og PETM er omtalt mere detaljeret i Geoviden 2010 Nr. 3.



Figur 18. Klinter og molergrave med Fur Formationen. Fra Pedersen m.fl. (2011).



Røsnæs Ler: EECO Early Eocene Climatic Optimum, **varmeperiode**

Fur Fm.: **Kølig periode**

Stolleklint Ler: PETM, global **varmebølge**

Figur 19. Aflejring fra Paleocæn-Eocæn overgangen. Fra Heilmann-Clausen (2017). Se også Figur 10.

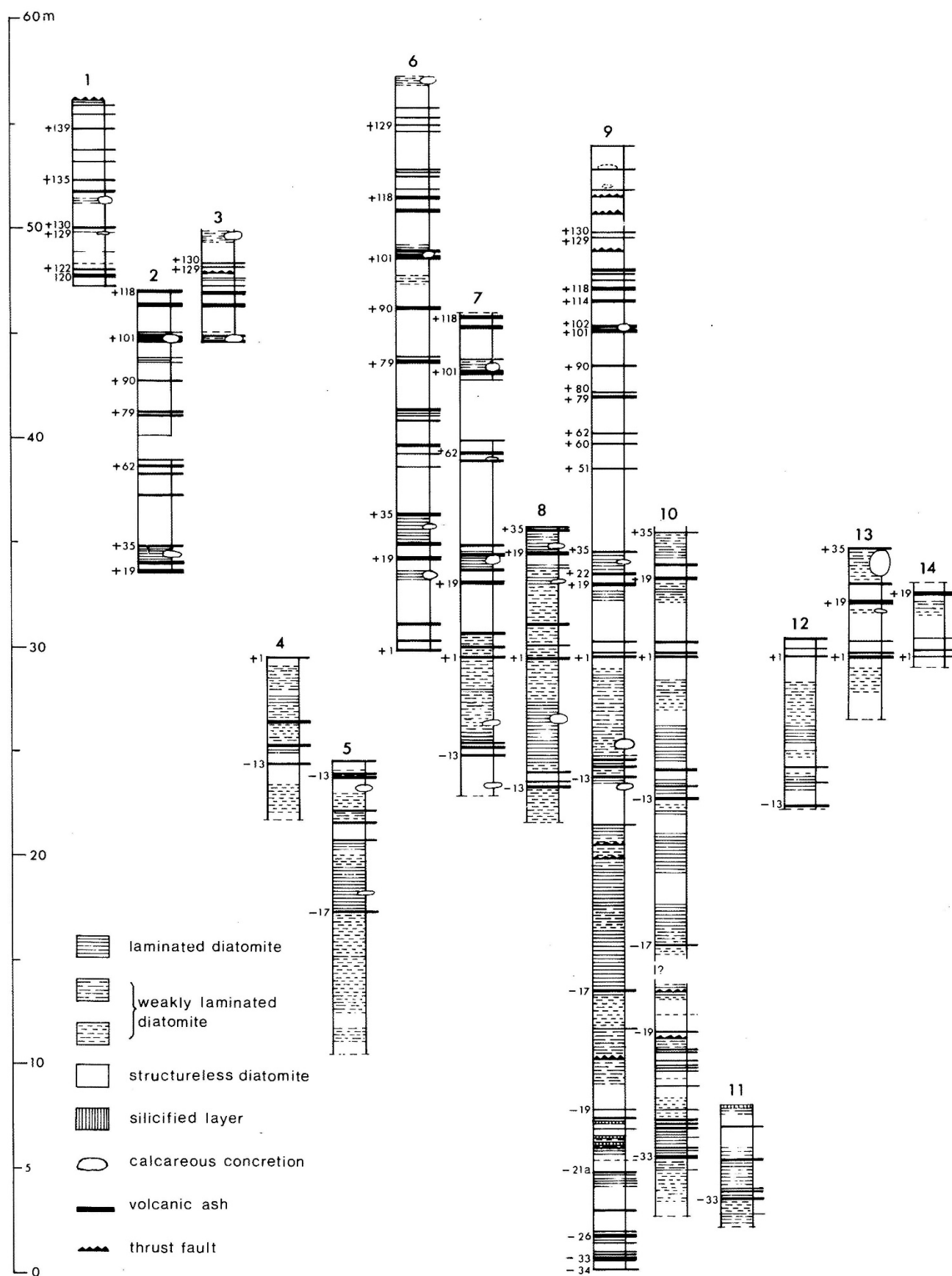
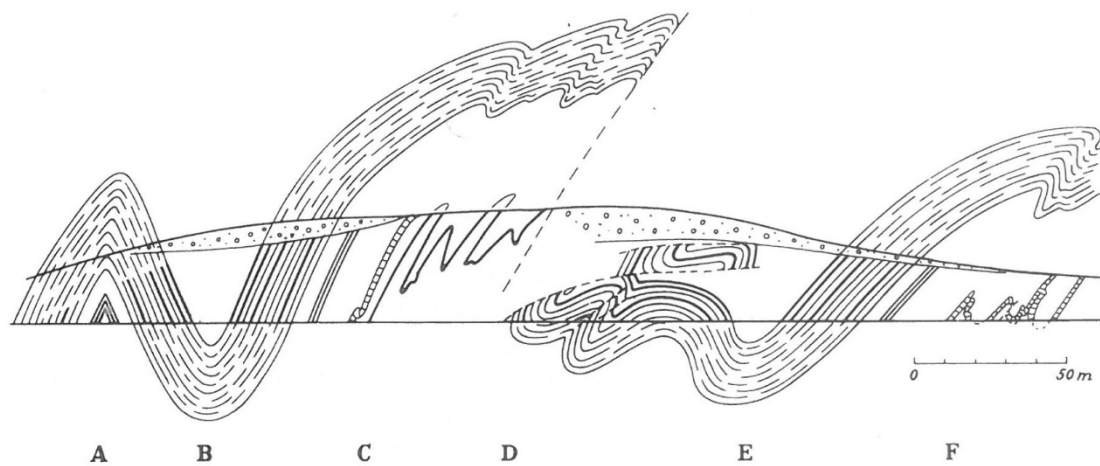
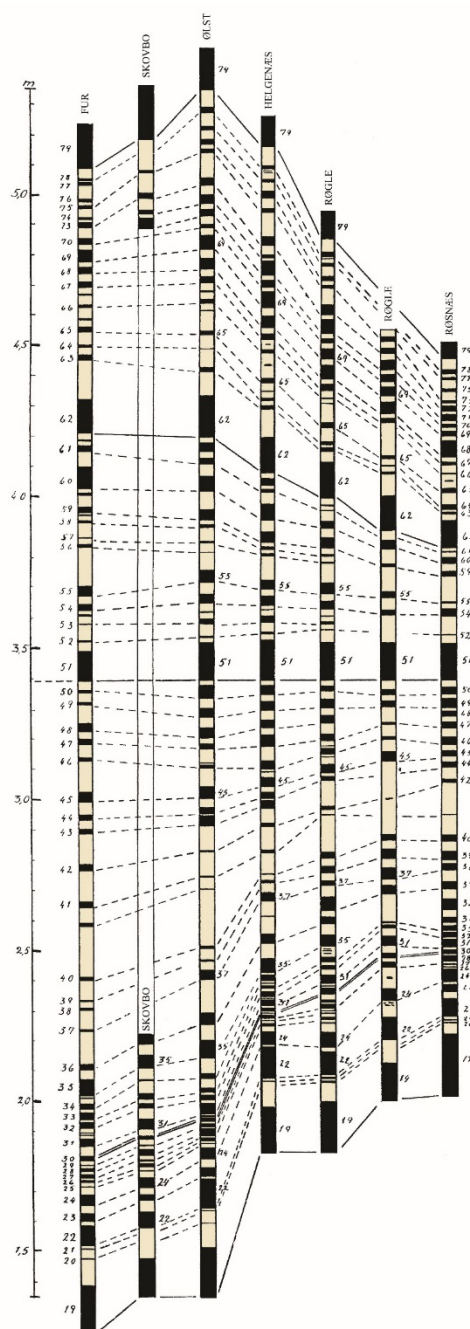


Fig. 15. Litologiske søjler af Fur Formationen i området fra Himmerland til Thy. Kun de tykkeste af askelagene er indtegnet. Det ses, at graden af lamination i diatomitten veksler på en systematisk måde og generelt aftager opad. Fra Pedersen & Surlyk (1983).

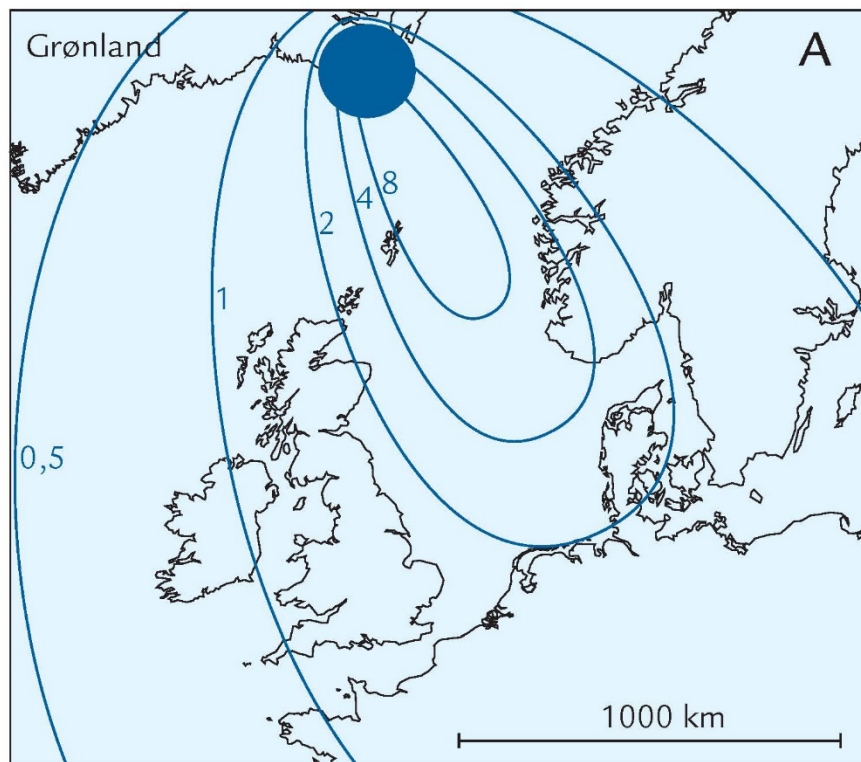
Figur 20. Søjle 9 er Knuden Klint (nr. 12 i Fig. 18). Søjle 10 er Stolleklint (nr. 14 i Fig. 18).



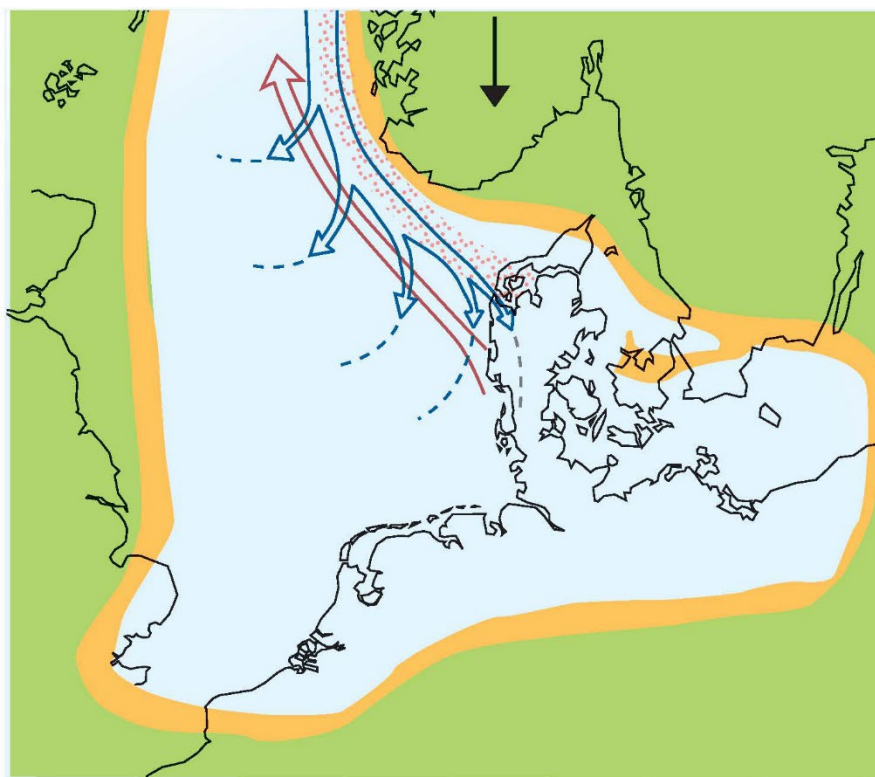
Figur 21. Glacialtektonisk model for Knudeklint på Fur. Fra Gry (1965).



Figur 22. Korrelation af askelag fra Fur Fm. (tv.) til Ølst Fm. (th.). Fra Andersen (1937).



Figur 23. Den samlede tykkelse (m) af askelag i Nordvesteuropa. Fra Knox (1997).



Figur 24. Model for havstrømme i "moler-tid". Sort pil = vindretning. Blå pile = overfladestrøm. Rød pil = understrøm. Røde prikker = zone med opstigende næringsrigt vand. Fra Bonde (1972).

Citeret litteratur

- Andersen, S.A. 1937: De vulkanske Askelag i Vejgennemskæringen ved Ølst og deres Udbredelse i Danmark. Danm. Geol. Unders., II Rk., Nr. 59, 50 pp.
- Bonde, N. 1972: Et usædvanligt miljø – MOLÉRET bliver til. Varv 1972 Nr. 4, 119-124 (tegningen spejlvendt; rettet i Varv 1973 Nr 1, side 16).
- Bonde, N., Andersen, S., Hald, N. og Jakobsen, S.L. 2010. Danekræ – Danmarks bedste fossiler. Gyldendal, 225 pp.
- Bøggild, O.B. 1918: Den vulkanske aske i moleret. Danm. Geol. Unders. II Rk., Nr. 33, 159 pp.
- Gry, H. 1965: Furs Geologi. Dansk natur-dansk skole, Årsskrift 1964, 45-55.
- Heilmann-Clausen, C. 1995: Palæogene aflejringer over Danskekalken. I: O.B. Nielsen (red.), Aarhus Geokompender No. 1, Danmarks geologi fra Kridt til i dag, 69-114. Geologisk Institut, Aarhus Universitet.
- Heilmann-Clausen, C. 2017: Kapitel 10. Koralrev og lerhav (ekskl. Danien). I: G. Larsen (red.), Naturen i Danmark, Geologien, 3. udgave. Gyldendal, 181-186 & 191-226.
- Heilmann-Clausen, C., Nielsen, O.B. og Gersner, F. 1985: Lithostratigraphy and depositional environments in the Upper Paleocene and Eocene of Denmark. Bull. geol. Soc. Denmark 33, 287-323.
- King, C. 2016: A Revised Correlation of Tertiary Rocks in the British Isles and adjacent areas of NW Europe. Geological Society Special Report No. 27. The Geological Society, London, 719 pp.
- Knox, R.W.O'B. 1997: The late Paleocene to early Eocene Ash layers of the Danish Mo-Clay (Fur Formation): stratigraphic and tectonic Significance. I: Thomsen, E. og Pedersen, S.A.S. (red.), Geology and Palaeontology of the Mo-Clay. Aarhus Geoscience 6, 7-11.
- Larsen, G. og Kronborg, C. 1994 Geologisk set, Det mellemste Jylland. Geografforlaget, 272 pp.
- Pedersen, G.P., Pedersen, S.A.S., Bonde, N., Heilmann-Clausen, C., Larsen, L.M., Lindow, B., Madsen, H., Pedersen, A.K., Rust, J., Schultz, B.P., Storey, M. og Willumsen, P. 2011: Molerområdets geologi – sedimenter, fossiler, askelag og glacialtektonik. Geologisk Tidsskrift 2011, 41-135.
- Pedersen, G.P. og Surlyk, F. 1983: The Fur Formation, a late Paleocene ash-bearing diatomite from northern Denmark. Bull. geol. Soc. Denmark 32, 43-65.
- Rasmussen, E.S, Dybkjær, K. og Piasecki, S. 2010: Lithostratigraphy of the Upper Oligocene - Miocene succession of Denmark. Geol. Survey Denmark and Greenland Bulletin 22, 92 pp.
- Śliwińska, K.K, Abrahamsen, N., Beyer, C., Brünings-Hansen, T., Thomsen, E., Ulleberg, K. og Heilmann-Clausen, C. 2012: Bio- and magnetostratigraphy of Rupelian – mid Chattian deposits from the Danish land area. Review of Palaeobotany and Palynology 172: 48-69.
- Stokke, E.W., Liu, E.J. og Jones, M.T. 2020: Evidence of explosive hydromagmatic eruptions during the emplacement of the North Atlantic Igneous Province. Volcanica 3(2), 227-250.
- Surlyk, F. 2017: Danien. I: G. Larsen (red.), Naturen i Danmark, Geologien, 3. udgave. Gyldendal, 186-190.
- Thomsen, E. 1976: Depositional environment and development of Danian bryozoan biomicrite mounds (Karlby Klint, Denmark). Sedimentology 23, 485-509.
- Thomsen, E. 1983: Relation between currents and the growth of Paleocene reef-mounds. Lethaia 16, 165-184.
- Ulleberg, K. 1987: Foraminiferal zonation of the Danish Oligocene sediments. Bull. geol. Soc. Denmark 36, 191-202.
- Weibel, R. 1995: Petrified wood from an unconsolidated sediment, Voervadsbro, Denmark. Sedimentary Geology 101, 31-41.