

ISBN 87 88787 00 1

DK 4500

1198 1608



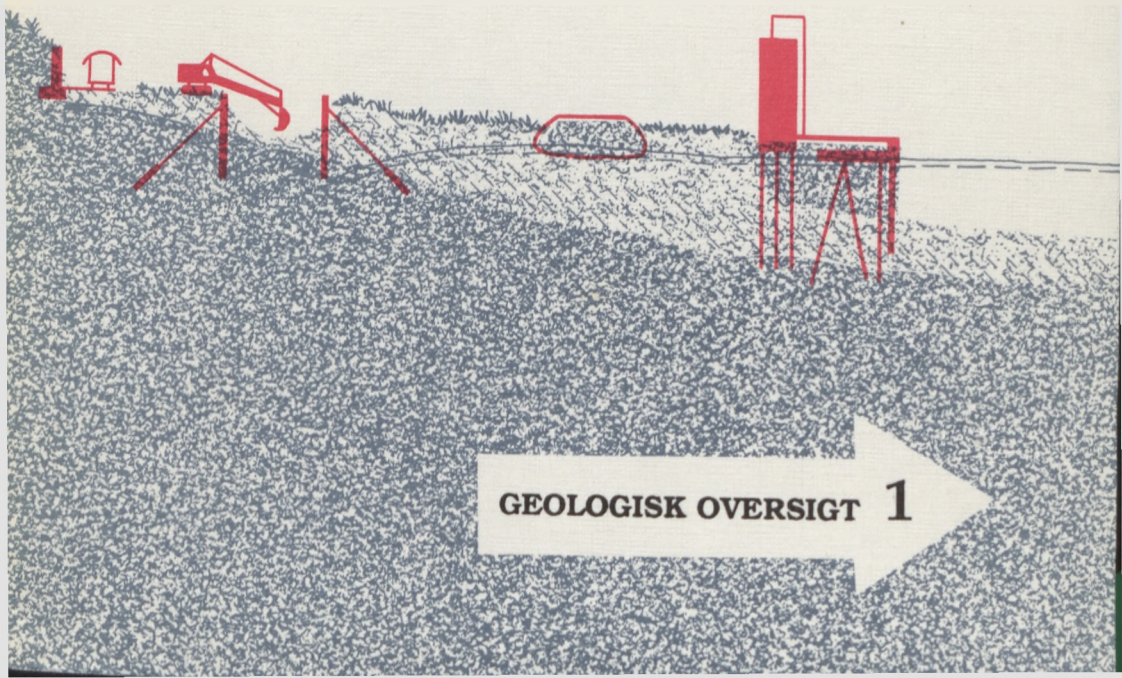
UUC LÆREBOG I FUNDERING

KAPITEL 1

LÆREBOG I

FUNDERING

AALBORG UNIVERSITETSCENTER



FORORD

Den planlagte lærebog i Fundering er blevet meget forsinket på grund af den store arbejdsbyrde, som påhviler lærerstaben i en tid med mange studerende og megen ændring i undervisningsplaner.

For at studerende kan få fornøjelse af de dele af lærebogen, der er færdiggjort, udsendes de i de nærmeste år kapitel for kapitel, i en revideret udgave.

Nærværende kapitel 1 er blandt andet baseret på forelæsningsnotater af professor Gunnar Larsen og geolog Ole Bjørslev Nielsen fra Århus Universitet. Gunnar Larsen har endvidere fremsat inspirerende kommentarer til det oprindelige manuskript. Siden første udgave har udviklingen i Nordsøen været så betydningsfuld, at det har givet anledning til ændringer i denne anden udgave.

Eftertryk med kildeangivelse tilladt.

d. 17. oktober 1984

Moust Jacobsen

Grete Thorsen

INDHOLDSFORTEGNELSE

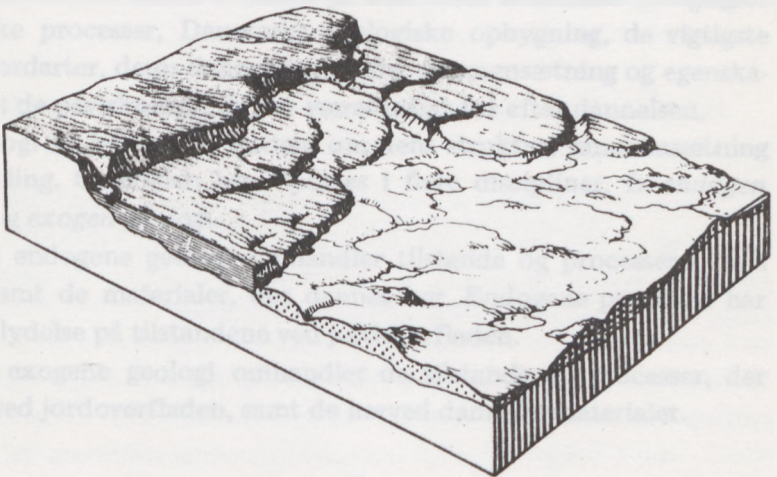
KAPITEL 1

GEOLOGISK OVERSIGT side

1. Geologisk oversigt	1.1
1.0 Indledning	1.1
1.1 Jordkloden	1.2
1.2 Endogene processer	1.5
Kontinenternes bygning	1.5
Kontinenternes drift	1.6
Forkastninger og foldninger	1.8
Vulkanisme	1.8
Salttektonik	1.10
Niveauforandringer	1.12
1.3 Exogene processer	1.13
Forvitring	1.13
Erosion. Transport. Aflejring	1.16
1.4 Historisk geologi	1.22
Oversigt	1.22
Jura	1.24
Kridt	1.26
Tertiær	1.28
Kvartær	1.35

KAPITEL 1

GEOLOGISK OVERSIGT



1. GEOLOGISK OVERSIGT

1.0 INDLEDNING

Ved teknisk anvendelse af det danske landskab er kendskabet til Danmarks geologi absolut nødvendigt, hvad enten det drejer sig om planlægning af et områdes infrastruktur, om udnyttelse af råstofressourcer eller om etablering af bygninger og offentlige anlæg.

For den projekterende tekniker er et nøjere kendskab til jordarternes tekniske egenskaber værdifuldt, fordi de funderingsmæssige problemer i forbindelse med byggeri af enhver art kan erkendes og afgrænses. Et vist kendskab til geologi sikrer at projektering og udførelse tager sigte på løsningen af relevante problemer og sikrer mod ubehagelige overraskelser i udførelsesfasen eller senere.

I nærværende afsnit er derfor på kort form behandlet de vigtigste geologiske processer, Danmarks geologiske opbygning, de vigtigste danske jordarter, deres dannelsesområde, sammensætning og egenskaber, samt de påvirkninger de har været udsat for efter dannelsen.

Geologi er læren om jorden, om dens struktur, sammensætning og udvikling. Geologien kan opdeles i flere discipliner, fx *endogen geologi* og *exogen geologi*.

Den endogene geologi omhandler tilstande og processer inde i jorden samt de materialer, der dannes her. Endogene processer har stor indflydelse på tilstandene ved jordoverfladen.

Den exogene geologi omhandler de tilstande og processer, der hersker ved jordoverfladen, samt de herved dannede materialer.

1.1 JORDKLODEN

Astronomisk set er jordkloden en planet i solsystemet, den tredje i rækken, når man regner fra solen. Afstanden herfra er 150×10^6 km. Klodens diameter er ca. 12.750 km.

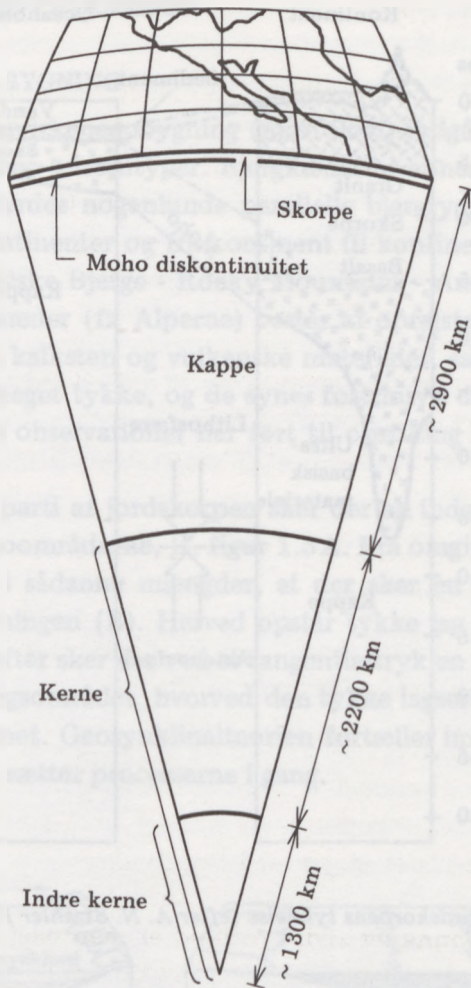
Man har nogenlunde velbegrundede forestillinger om jordklodens sammensætning og struktur. Grundlaget herfor er ikke direkte observationer, men en kombination af adskillige indirekte oplysninger, bl.a.:

- a) Klodens gennemsnitsdensitet er beregnet til $5,5 \text{ g/cm}^3$. Densiteten af bjergarter ved jordoverfladen er ca. $2,6 \text{ g/cm}^3$. I jordindret må der derfor være stof med meget større densitet.
- b) Meteoritter (meteorsten), som antages at stamme fra sprængte planeter, falder i to typer: Jernmeteoritter (NiFe) og stenmeteoritter (silikater).
- c) Jordkloden har et magnetfelt, hvis baggrund kan være elektriske strømme i et NiFe - legeme i jordindret.
- d) Jordskælvsbølger. Disse falder i to kategorier: 1) P - bølger, der svinger longitudinalt og 2) S - bølger, der svinger transversalt. S - bølger kan ikke forplante sig i flydende stof. Bølgéhastigheden stiger med densiteten.

Ud fra sådanne og andre forhold er man nået til en opfattelse af jordklodens opbygning, som kan udtrykkes således:

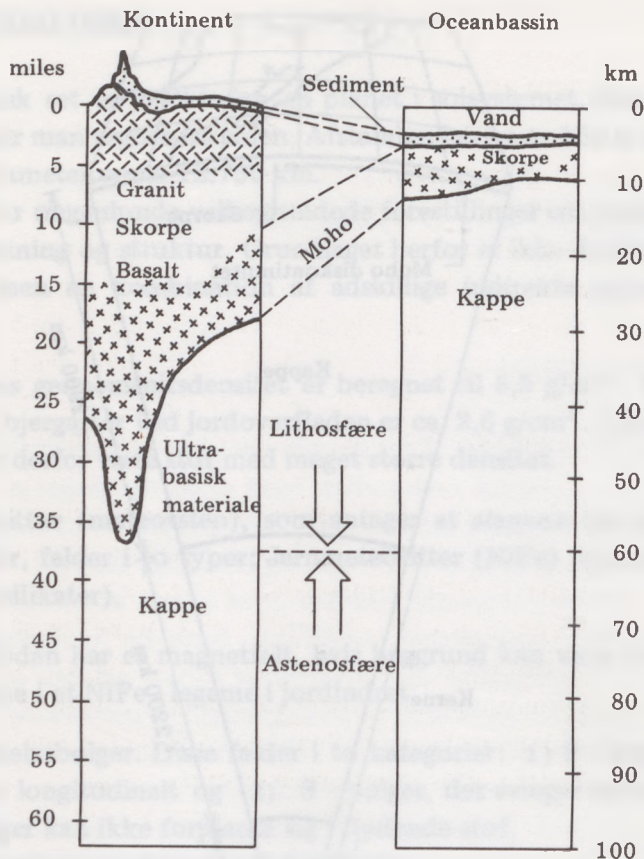
Yderst findes *skorpen*, som ved Moho (Mohorovicic - diskontinuiteten) er adskilt fra *kappen*. Wiechert - Gutenberg - diskontinuiteten adskiller kappen fra *kernen*. Kernen deles ved Lehmann - diskontinuiteten i en ydre flydende del og en indre fast del.

Den geologiske videnskab beskæftiger sig med forholdene i skorpen og den ydre del af kappen.



Figur 1.1 Jordklodens opbygning (efter Zumberge og Nelson 1972)

Grænsefladen (Moho) kan bestemmes seismisk. Den findes i ca. 10 km dybde under oceanbunden og i indtil 60 km dybde under kontinenternes bjergregioner. Man antager, at skorpen »flyder» på kappen i henhold til loven om isostasi. Densiteten for granit, basalt og ultrabasisk materiale er henholdsvis ca. 2,7 - 3,0 og 3,3 g/cm³. Dette



Figur 1.2 Jordskorpens tykkelse (efter A. N. Strahler 1972)

leder til den tanke, at dele af kappen opfører sig plastisk ved langtidsbelastning (det må erindres, at umådelige tidsrum er til rådighed for de geologiske processer). Forestillingen om en plastisk tilstand bekræftes af målinger, der bl.a. viser, at S - bølgenes hastighed samt jordskælvhypigheden aftager på dybder omkring 60 km. Den plastiske tilstand skyldes antagelig, at man i det pågældende område af kappen har en tryk-temperaturbalance, der ligger tæt ved bjergarternes smeltepunkt.

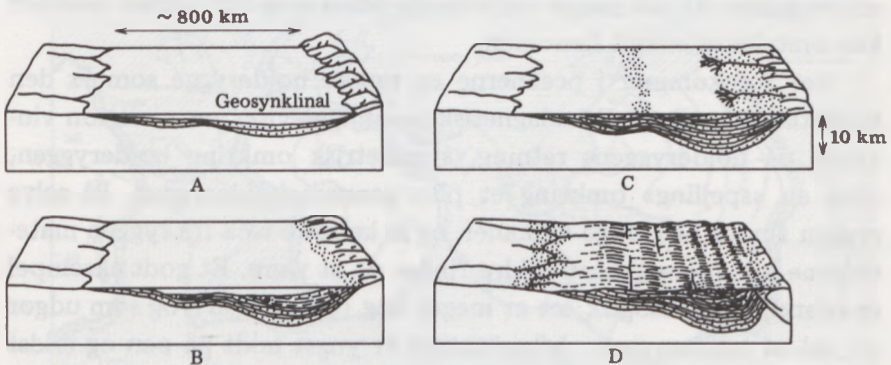
1.2 ENDOGENE PROCESSER

KONTINENTERNES BYGNING

I kontinenternes landskabsopbygning (morfologi) indgår bjergkæder og mere plateauagtige terræntyper. Bjergkæder er zoner indeholdende rækker af indbyrdes nogenlunde parallelle bjergrygge, zoner der kan følges over kontinenter og fra kontinent til kontinent (Alperne - Himalaya - Østasiatiske Bjerge - Rocky Mountains - Andesbjergene).

De unge bjergkæder (fx Alperne) består af oprejste, foldede lag af sandsten, skifre, kalksten og vulkanske materialer, samt indslag af granit. Lagene er meget tykke, og de synes fortrinsvis dannet på lavt vand. Bl.a. sådanne observationer har ført til opstilling af *geosynklinalteorien*.

I et langstrakt parti af jordskorpen sker der en indsækning, der er større end i naboområderne, jf. figur 1.3A. Fra omgivende arealer tilføres materialer i sådanne mængder, at der sker en opfyldning i takt med indsækningen (B). Herved opstår tykke lag af lavtvandsdannelser (C). Derefter sker der ved et tangentialtryk en sammenpresning af indsækningsområdet, hvorved den tykke lagserie foldes (D). Bjergkæden er dannet. Geosynklinalteorien fortæller imidlertid intet om de kræfter, der sætter processerne i gang.



Figur 1.3 Geosynklinalteorien (efter Zumberge og Nelson 1972)

I de dybeste dele af de foldede lag er tryk - temperaturforholdene så høje, at der sker gennemgribende omformninger af materialerne. Denne omdannelse eller *metamorfose*, omfatter omkrystallisering, stofvandring samt nye mineraldannelser. Herved opstår gnejs og granit af de oprindelige sandsten, skifre etc.

Geologiske kort over kontinenternes plateaulandskaber, de såkaldte grundfjeldsområder, viser spor af en »bælte-struktur«. Dette tydes således, at disse plateauer består af »rødderne» af gamle bjergkæder.

Bjergkæden synes at være grundenheden i kontinenternes bygning. Sporene kan dog være skjult af yngre dæklag. Det gælder således i Danmark, hvor en flere km tyk sediment - lagserie hviler på grundfjeldet, der udgør soklen af en gammel bjergkæde.

KONTINENTERNES DRIFT

Wegener formulerede i dette århundredes begyndelse kontinentalforskydningsteorien. En senere generations geologer forkastede den under påberåbelse af, at den geofysiske videnskab ikke kunne forklare de kræfter, der er nødvendige for at fremkalde forskydningerne.

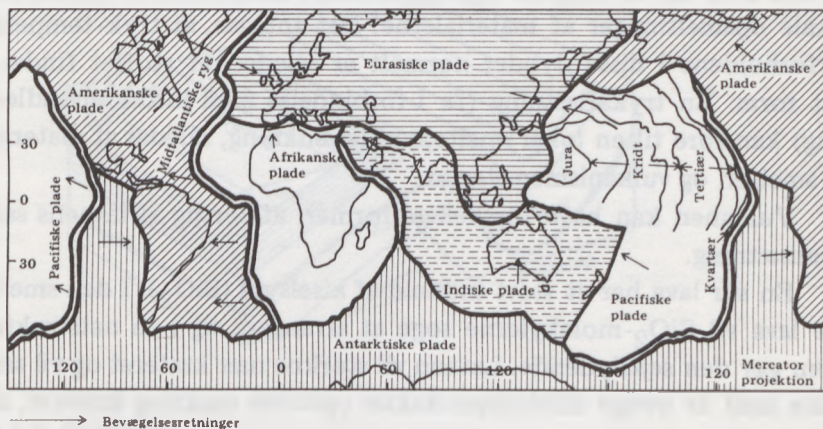
I 1960'erne genopstod Wegeners tidligere teori på grundlag af en lang række fundamentale observationer, som ikke kunne forklares på anden måde. Af det meget omfattende observationsmateriale skal her kun omtales et enkelt fænomen.

Der forekommer i oceanerne en række højderygge som fx den Midtatlantiske Ryg. Geomagnetiske målinger viser en variation vinkelret på højderyggenes retning, symmetrisk omkring højderyggen, altså en »spejling» omkring et plan gennem højderyggen. På selve ryggen findes helt unge vulkaner, og jo længere væk fra ryggen materialerne lokaliseres, desto ældre findes de at være. Et godt eksempel er Island, der geologisk set er meget ung (60 mill. år), og som udgør en del af højderyggen. Aflejringerne er yngst midt på øen og ældst langs øst- og vestkysten. Den vulkanske virksomhed foregår i en zone, der er orienteret nord - syd og går midt gennem landet.

Sådanne og andre observationer har ført til den opfattelse, at fx Atlanterhavets bund udvider sig ved en flugt fra den Midtatlantiske Ryg, hvor der til stadighed dannes nyt oceanbundsmateriale gennem vulkanske processer. Tilsvarende situationer møder man også i de andre oceaner.

Teorien går ud på, at jordoverfladen er inddelt i et antal store plader, der bevæger sig i forhold til hinanden. Hvor pladerne bevæger sig fra hinanden opstår ny havbund; enkelte steder med vulkanisme, fx Vestmannaøerne. Hvor pladerne bevæger sig mod hinanden, kan der, hvis hastigheden er stor (ca. 2 x 8 cm pr. år), opstå jordskælv, vulkanisme og dannelse af dybgrave. Hvor hastigheden er mindre (ca. 2 x 1 cm pr. år), kan der opstå en foldekæde. Pladerne antages at bestå af skorpen og den øvre del af kappen (Lithosfæren). Bevægelsen antages at ske i den plastiske del af kappen (Astenosfæren). Bevægelsen er muligvis konvektionsstrømme, hvis drivkraft kan være radioaktiv varmeproduktion i kappen (jf. figur 1.2).

Pladeteknikteorien er meget omfattende, den rummer forklaring på ikke blot vulkaners og jordskælvs lokalisering, men også lokaliseringen af foldebjergene. Såvel den geosynklinale indsynkning som den efterfølgende foldning ved tangentialtryk kan forklares tilfredsstillende ved en lokalisering i kontaktzonen mellem to plader, der bevæger sig mod hinanden.



Figur 1.4 Kontinenternes drift (efter A. N. Strahler 1972)

FORKASTNINGER OG FOLDNINGER

Det foranstående har skildret nogle træk af den endogene geologi i stor skala. En del af de hertil knyttede fænomener kendes også i lille skala. Her skal omtales to af disse fænomener: Forkastninger og foldninger.

En *forkastning* er et brud eller en brudzone, langs hvilken der er foregået en relativ bevægelse af de to sider parallelt med bruddet. Forkastninger opstår ved udløsning af spændinger i jordskorpen (evt. jordskælv). Der skelnes mellem tre typer af forkastninger, normalforkastning, reversforkastning og sideværts forkastning (jf. figur 1.5). I geologien benyttes bestemmelse af forkastningstypen til kvalitativ bedømmelse af spændingsforholdene i jordskorpen i fortiden.

På tilsvarende vis benyttes forekomsten af *foldninger*. Disse vil som oftest opstå under kraftpåvirkninger svarende til de under reverse forkastninger viste (jf. figur 1.6).

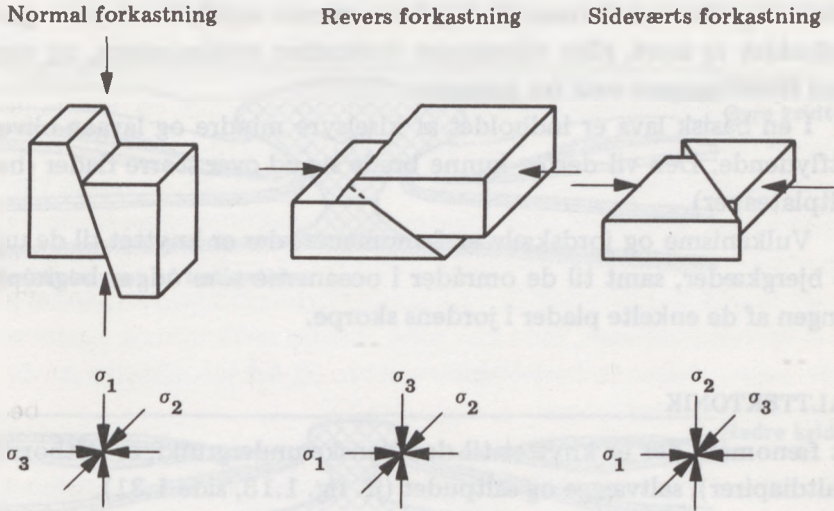
Foldninger og forkastninger er træk, man ofte møder i istidslandskabet. De kan rumme vigtige informationer om landskabets dannelsesforhold.

VULKANISME

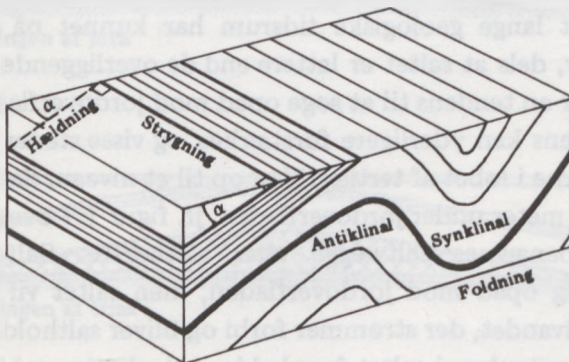
De vulkanske materialer stammer fra den dybere del af jordskorpen og den øvre del af kappen. Der må således i disse områder kunne ske lokale opsmeltninger af materialerne. Det antages, at tryk-temperaturforholdene i disse dybder normalt er således, at stoffet findes i fast form. En trykaflastning (fx i forbindelse med jordskælvsudløsning) kan føre til en lokal smeltepunktssænkning, således at materialet smelter, og vulkanismen starter.

Vulkanen kan have forskellige former, afhængig af lavaens sammensætning.

En sur lava har et stort indhold af kiselsyre (SiO_2). I den smeltede lava vil SiO_2 -molekylerne søge at arrangere sig i en netstruktur, som gør den sejtflydende. Lavaen vil størkne nær krateret og vil sammen med de øvrige udbrudsprodukter ophobes omkring krateret, der



Figur 1.5 Forkastninger. σ_1 , σ_2 og σ_3 angiver henholdsvis største, mellemste og mindste kraftpåvirkning (spænding)



Figur 1.6 Foldninger

bliver kegleformet. Lavaen vil dog blive mindre sejtflydende, hvis gasindholdet er stort, eller vibrationer forhindrer netdannelsen, og dermed flyde længere væk fra krateret.

I en basisk lava er indholdet af kiselsyre mindre og lavaen bliver letflydende. Den vil derfor kunne brede sig ud over større flader (basaltplateauer).

Vulkanisme og jordskælv er fænomener, der er knyttet til de unge bjergkæder, samt til de områder i oceanerne som udgør begrænsningen af de enkelte plader i jordens skorpe.

SALTTEKTONIK

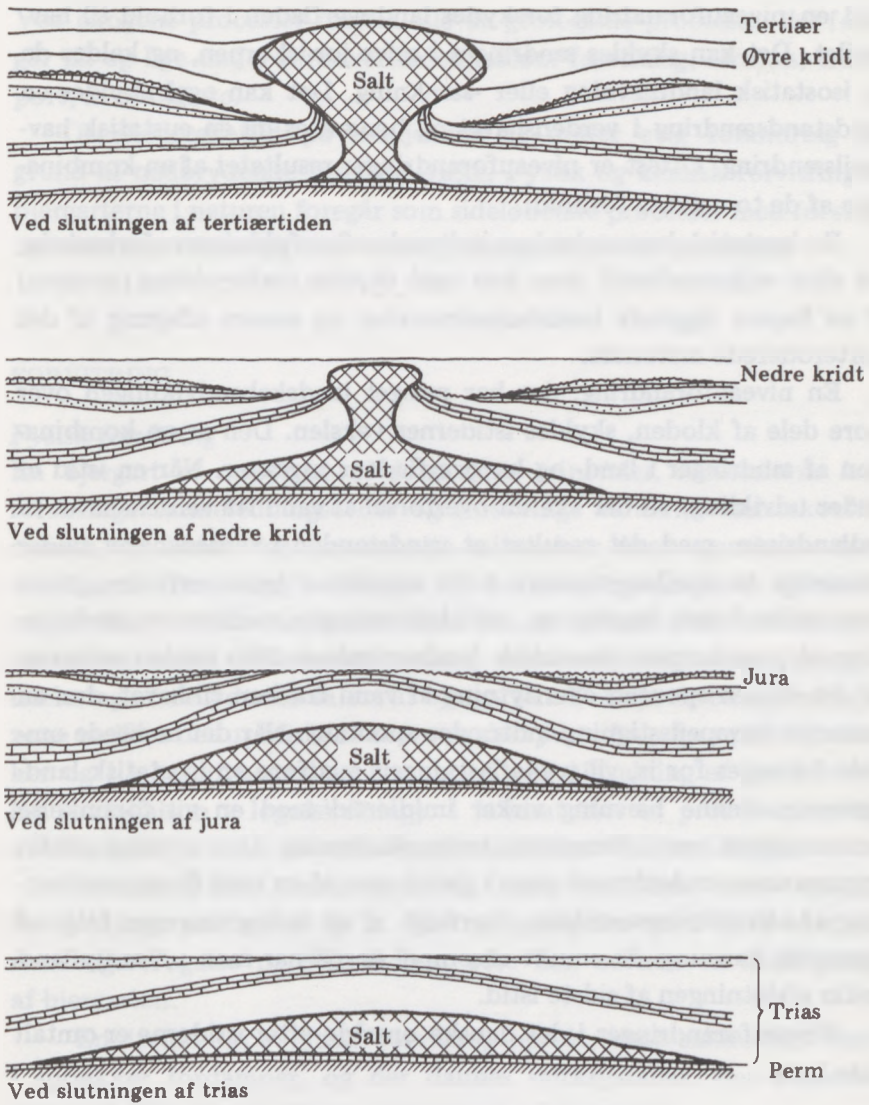
Et fænomen, der er knyttet til den danske undergrund, er salthorste (saltdiapirer), saltvægge og saltpuder (jf. fig. 1.13, side 1.31).

I permperioden for 220-270 mio. år siden var der i det danske område en indsø med stor tilførsel af saltvand. Ved fordampning afsattes salt i kilometertykke lag. I de følgende perioder, hvor store dele af det danske område var havdækket, blev nye aflejringer afsat oven på saltet, og saltlagene ligger i dag i flere kilometers dybde.

Belastningen fra de senere aflejringer bevirkede, at saltet i løbet af trias- og juratiden lokalt samlede sig i saltpuder, som vist på figur 1.7 nederst. Baggrunden for dannelsen af sådanne saltstrukturer er dels, at salt under tryk bliver en meget sejtflydende »væske«, der under de meget lange geologiske tidsrum har kunnet nå at flyde sammen i puder, dels at saltet er lettere end de overliggende aflejringer og derfor har en tendens til at søge opad mod jordoverfladen.

Denne tendens kan yderligere forstærkes, og visse steder flød saltet fra saltpuderne i løbet af tertiærtiden op til et niveau, der kun ligger få hundrede meter under jordoverfladen, jf. figur 1.7 øverst. Disse saltstrukturer benævnes saltvægge eller salthorste. Saltet søger formentlig stadig opad mod jordoverfladen, men saltet vil heroppe opløses af grundvandet, der strømmer forbi og bliver saltholdigt.

Alle disse bevægelser i saltet fremkalder naturligvis også bevægelser i de øvrige jordlag, således som det tydeligt ses af fig. 1.7. Tilsammen kaldes processerne for salttektonik.



Figur 1.7 Eksempel på dannelse af salthorst (efter Trusheim 1960)

NIVEAUFORANDRINGER

Ved en niveauforandring forskydes landoverfladen i forhold til havspejlet. Det kan skyldes ændringer i selve jordskorpen, og kaldes da en isostatisk landhævning eller -sænkning. Det kan også skyldes en vandstandsændring i verdenshavet og benævnes da en eustatisk havspejlsændring. Oftest er niveauforandringer resultatet af en kombination af de to nævnte forhold.

En isostatisk bevægelse kan indtræde efter foldninger, forkastninger eller vulkanudbrud, men kan også skyldes nedbrydning (erosion) af de højere liggende landskabselementer og senere aflejring af det borteroderede materiale.

En niveauforandring, der har præget landskabsudviklingen over store dele af kloden, skyldes istidernes vekslene. Den er en kombination af ændringer i land- og havoverfladens niveauer. Når en istid er under udvikling, vil der ske en overførsel af vand fra verdenshavet til indlandsisen, med det resultat at vandstanden i verdenshavet falder (eustatisk havspejlssænkning). I det område af jordoverfladen, hvor over indlandsisen breder sig, vil isbelastningen medføre en nedtrykning af jordskorpen (isostatisk landsænkning). Når istiden ophører, vil der ske en spontan overflytning af vand fra isen til havet, dvs. en eustatisk havspejlsstigning indtræder spontant. Når det nedisede område frilægges for is, vil trykaflastningen medføre en isostatisk landhævning. Denne hævnings virker imidlertid med en vis forsinkelse sammenlignet med førnævnte havspejlsstigning. Det typiske udviklingsmønster er derfor, at man i slutningen af en istid får en havdækning af afsmeltningsområdet efterfulgt af en tørlægning som følge af isostatisk hævnings. Et smukt eksempel herpå har man i Nordjylland under afslutningen af sidste istid.

Niveauforandringer i det danske område efter istiderne er omtalt side 1.44.

1.3 EXOGENE PROCESSER

Ved exogene processer forstås alle de geologiske processer, der foregår på og lige under jordoverfladen, såsom forvitring, erosion, transport, aflejring etc.

Overfladerelieffet på landjorden er under evig forandring på grund af nedbrydende kræfters virke. Fysisk og kemisk forvitring af bjergarterne i naturen foregår som sideløbende processer med forskellig intensitet afhængig bl.a. af de klimatiske forhold på stedet.

FORVITRING

Fysisk forvitring

En bjergart er opbygget af forskellige mineraler. Mineralerne har forskellige varmeledningsevner og forskellige varmeudvidelseskoefficienter, og inden for det enkelte mineral er disse egenskaber forskellige i forskellige retninger. Varmeledningsevnen er generelt meget lille for alle mineraler. Udsættes en bjergart for store temperatursvingninger mellem dag og nat, sker en udvidelse og sammentrækning af de yderste få cm af bjergarten. Der opstår en spændingszone mellem det upåvirkede indre og den ydre skal, der opstår sprækker og i løbet af nogen tid kan der ske en afskalning af det yderste lag (exfoliation - løgafskalning). I laboratoriet er processen mulig at efterligne, hvis der tilsættes vand, men ikke i helt tørt miljø.

En anden type fysisk forvitring finder sted, hvor vand i sprækker i bjergarten fryser til is. Ved overgang fra vand til is sker en rumfangsforøgelse på 9%, hvilket ofte kan bevirke en sprængning af bjergarten.

En tredje type fysisk forvitring opstår, hvor saltholdigt vand i sprækker fordamper, og der dannes saltkrystaller. Den fortsatte vækst af disse kan forårsage sprængning af bjergarten.

Endelig kan planterødder trænge ned i sprækker og ved væksten sprænge bjergarten.

Kemisk forvitring

Den kemiske forvitring omfatter opløsnings- og udludningsprocesser. Intensiteten afhænger af udgangsbjergarternes sammensætning og sådanne klimatiske faktorer som temperatur, nedbør og plantevækst samt den hastighed, hvormed de opløste stoffer transporteres bort.

De fleste mineraler er dannet under højere tryk og større temperaturer end de nuværende. De er kemisk ustabile ved jordoverfladen, da deres modstandsevne overfor forvitring står i omvendt forhold til deres dannelsesstemperatur og -tryk.

En granit består groft set af tre hovedkomponenter - eller mineraler, nemlig kvarts, feldspat og glimmer. Kvarts og lys glimmer er stabile overfor forvitring, men feldspat og mørk glimmer er ustabile og sammen med vand dannes lermineraler. Ved kemisk forvitring af granit dannes altså kvarts, lys glimmer og lermineraler, desuden vil der normalt forekomme en del stabile tungmineraler.

Danmark ligger i det humide klimaområde, hvor nedbøren er større end fordampningen. Under disse forhold foregår en udvaskning af opløselige salte og forvitringsprodukter i de øvre jordlag. Nogle af de opløste stoffer tilføres grundvandet, mens andre genudfældes i profilet under dannelse af nye mineraler.

I de øverste jordlag vil foregå en iltning af jernholdige mineraler, hvorved der dannes brunjernsten (limonit). Aflejringerne får en rødlig eller gulbrun farve (rødler). Iltning af jernforbindelserne trænger især frem langs sprækkezoner, planterødder og permeable lag.

Overfladevand og nedsivende vand indeholder opløst kuldioxyd, CO_2 , dels fra atmosfæren, dels fra de øverste humusholdige lag. Kuldioxydholdigt vand er aggressivt og vil i første omgang opløse kalk (CaCO_3). Der sker en kalkudvaskning i de øverste lag. Graden af kalkudvaskning vil afhænge af jordens oprindelige kalkindhold, vandets kuldioxydindhold og den gennemsvivende vandmængde. Kommer det kalkholdige vand frem i kilder, søer el.lign., får det mulighed for at afgive kuldioxyd, og der udfældes kalk (kildekalk, søkalk etc.). I kalkaflejringer, der forefindes nær jordoverfladen, vil ofte opstå fordybninger, huller (skorstene) etc.

Så lang tid der er kalk nok i de øverste jordlag, vil reaktionen være neutral eller svagt sur. Når kalken er udvasket, bliver vandet surt. Der er dannet en sur front. Det sure vand vil være aggressivt overfor andre mineraler i jorden, særlig jern og mangan. Det nedsivende vand vil ofte følge de samme veje gennem jorden. Den sure front vil trænge længere og længere frem, og hvis den på et tidspunkt når helt frem til kalksedimenterne, vil disse opløses, mens jern- og manganforbindelserne udskilles (myremalm, sømalm, okker etc.).

Forvittringsprocesserne medfører en omgruppering og sortering af mineraler, hvorved der efterhånden udvikles forvittringsprofiler. Her i landet skelnes mellem to profiltyper, 1) brunjordsprofilet og 2) podsolprofilet.

Brunjordsprofilet udvikles på lerholdig jord med relativt ringe gennemsvivning og med god formuldning i overfladelaget. Under mulden træffes ret kalkfattigt rødler, derunder kalkholdigt rødler underlejret af kalkholdigt, uforvitret, gråt ler. Det er normalt, at iltningen (rødfarvning på grund af jernudskillelser) går dybere end kalkudvaskningen. Brunjordsprofilet er det almindeligste forvittringsprofil i Østjylland og på Øerne.

Podsolprofilet udvikles på meget sandede jorde. På sandjord er den biologiske omsætning i overfladelagene som regel dårligere end på lerjord. Der dannes ikke muld, men mor, der indeholder en række stærkt sure forbindelser. Det sure nedsivningsvand vil sammen med sandlagenes gode permeabilitet fremme en effektiv udvaskning i de øverste lag. Der opstår en udvaskningszone med kalkfrit, grålig-hvidt, næsten rent kvartssand (blegsand). Hvis det sure vand iltes, udfældes de opløste jernforbindelser, og der kan i et dybere niveau opstå en udskillelseszone, hvor jorden er sammenkittet af udskilt brunjernsten (allag, limonitsandsten). Podsolprofilet træffes væsentligst i Midt- og Vestjylland.

Når den sure front er trængt længst frem i Midt- og Vestjylland, kan dette føres tilbage til flere forhold, tiden, jorden og klimaet (stor nedbør). Når den sure front er trængt mindst frem på morænefladerne i Sydsjælland og på Lolland - Falster, er årsagen ikke alene jordbunden og tiden, men også en lavere nedbør.

Stærkt surt og dermed aggressivt vand kan dannes ved iltning af organiske aflejringer, idet organiske stoffer normalt indeholder reducerede svovlforbindelser (sulfider). Ved nedbrydning af organisk materiale dannes svovlbrinte (H_2S), der vil udfælde evt. jern i vandet som svovljern (FeS_2). Udsættes svovljern for iltning, dannes jernsulfat ($FeSO_4$) og svovlsyre (H_2SO_4).

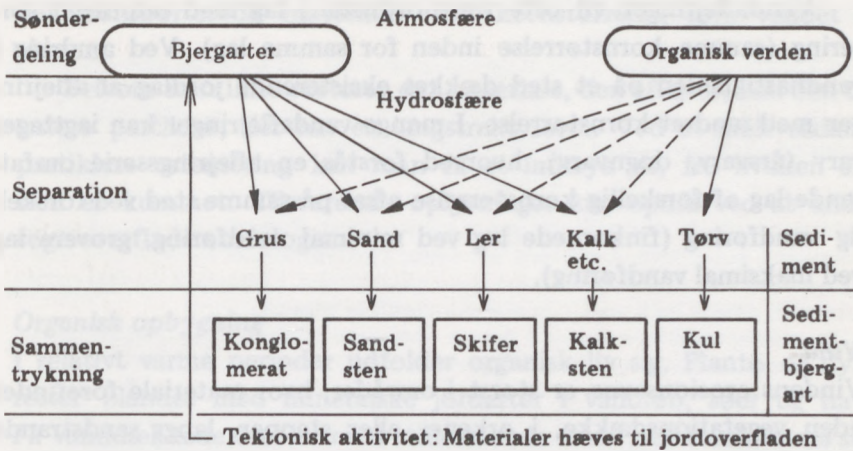
På fugtige, sumpede områder, hvor organiske stoffer ophobes, kan således forekomme en akkumulering af »sure« stoffer. Afvandes sådanne områder iltes de organiske materialers sulfidindhold, og der dannes svovlsyre. Ved opgravning af organiske materialer kan på lignende måde rent lokalt dannes en stærkt sur front (som fx i forbindelse med brunkulsgravning).

EROSION. TRANSPORT. AFLEJRING

Materialer dannet ved forvitningsprocesser kan forblive på stedet og kaldes da residualbjergarter, eller de kan transporteres fra dannelsesområdet af vand, vind eller is og kaldes da for sedimenter.

Sedimentmaterialerne kan anskues som produkter af de exogene processer og miljøer. Procesforløbet lader sig naturligt inddele i tre hovedstadier (jf. figur 1.8):

1. *Sønderdelingsstadiet*, hvor de for atmosfærens påvirkning exponerede bjergarter smuldrer og/eller går i opløsning (fysisk og kemisk forvitring).
2. *Separationsstadiet*, hvorunder de smuldrede materialer og opløste stoffer transporteres og bringes til aflejring under indvirkning af fx det rindende vand, vinden, isen, havet.
3. *Sammentrykningsstadiet* (eller konsolideringsstadiet), hvorunder de aflejrede sedimenter trykkes sammen og eventuelt cementeres til sedimentbjergarter (diagenese).



Figur 1.8 Sedimenternes kredsløb (efter Gunnar Larsen 1973)

Vand

Ved et vandløbs udspring er gradienten stor, dvs. vandets hastighed og dermed dets energi er stor. Det kan erodere i landskabet, og det kan transportere meget materiale og relativt store partikler. På vej nedad i flodløbet bliver gradienten mindre, energien aftager, tyngdekraften på de største partikler bliver dominerende, og disse falder til ro på bunden i floden, fjorden, søkanten eller ved havets kyst. Sten og grus aflejres først, sand transporteres længere ud, og først i helt roligt vand sedimenteres det fineste lerslam. Partiklernes transportform er afhængig af forholdet mellem partikelstørrelse og energi i vandet.

- Forholdsvis store partikler vil rulle på bunden.
- Finkornede partikler vil holdes i opslæmning under transporten.
- Korn af mellemstørrelse vil bevæge sig i spring (saltation). Et korn bliver slået op fra bunden, men det er for stort til at forblive i opslæmning, det falder ned igen og slår et andet korn op osv.

De groveste korn, der ruller på bunden udsættes for mere slid end de korn, der er i opslæmning eller bevæger sig i spring. De groveste korn bliver derfor de mest afrundede.

Vandaflejringer vil ofte være ordnede i lag med udpræget sortering (samme kornstørrelse inden for samme lag). Ved ændring i vandhastigheden på et sted dækkes eksisterende jordlag af aflejringer med ændret kornstørrelse. I mange vandaflejringer kan iagttages varv (årsvarv, døgnvarv), hvorved forstås en aflejringsserie omfattende lag af forskellig kornstørrelse afsat på samme sted ved forskellig vandføring (finkornede lag ved minimal vandføring, grovere lag ved maksimal vandføring).

Vind

Vindens erosionsevne er størst i områder, hvor materiale forefindes uden vegetationsdække, i ørkener eller stepper, langs sandstrande og i arktiske områder.

Vindens transportevne er ringere end vandets hvad angår maksimal kornstørrelse. Det er hovedsagelig fint sand, silt og ler, der transporteres, mens groft sand, grus og sten lades tilbage med en sandblæst overflade. Når vindens hastighed aftager, aflejres det groveste materiale oftest i klitter, det fineste som udstrakte dækker (løss). Vindtransporten kan foregå på samme måde som vandtransporten, rulning, spring og opslemning.

Is

Når en gletscher bevæger sig hen over et område vil den erodere i bunden og efterhånden optage materiale i sig og transportere dette med. Isen optager materiale af alle kornstørrelser fra ler, sand op til store blokke. De store partier af skrivekridt ved Møens klint er flyttet af isen under istiderne.

Foran den fremrykkende isrand vil ofte ske store forstyrrelser på grund af ismassernes vægt og bevægelse. Der kan foregå brud i jordmasserne og aflejringerne presses op som bakker i landskabet. Hvis gletscheren rykker henover de oppressede bakker bliver de afhøvede til et nogenlunde jævnt niveau.

Når isen smelter, bliver det materiale, der var indeholdt i ismasserne efterladt i en tilfældig sammenblanding. Isen sorterer ikke

det transporterede materiale efter kornstørrelse, som vandet og vinden.

Selvom isen ikke sorterer det materiale, den aflejrer, kan den orientere partikler, der har en langstrakt form. Ved at måle sådanne partiklers orientering kan man få et indtryk af, fra hvilken side isen er kommet. Tilsvarende oplysninger kan opnås ved at undersøge overflademorfologien.

Organisk opbygning

I relativt varme perioder udfolder organisk liv sig. Plante- og dyrerester blandes med mineralske jordarter i vandløb, søer og have. På vanddækkede arealer med stillestående vand kan forekomme store ophobninger af organiske rester, der aflejres som organiske jordarter (tørv, dynd, gytje).

Kul- og bitumenaflejringer er udviklet af aflejringer af tørv og dynd under forskellige omdannelsesprocesser. I det danske område findes på Bornholm kul fra juraperioden og i Vestjylland findes brunkul fra den yngste del af tertiærtiden.

Olie og gas er kulbrinter, der under bestemte tryk- og temperaturforhold er udviklet af organiske materialer i marine lerede aflejringer (moderbjergart). Olie- og gasforekomster findes ikke på dannelsesstedet. Efter dannelsen er de migreret fra moderbjergarten op gennem overliggende lag, til de er fanget i en »fælde« på grund af overliggende impermeable aflejringer. Den aflejring, hvori olie og gas forekommer, kaldes reservoirbjergarten. Vigtige reservoirbjergarter i den danske del af Nordsøen er kalk- og kridtaflejringer fra danien og senon.

Kalk- og kridtaflejringer består hovedsagelig af kalkspat (CaCO_3), hvoraf en stor del stammer fra skaller og skeletter fra organismer, der har levet i havet. Aflejringerenes struktur kan i større eller mindre grad være præget af de forskellige organismer (koralkalk, bryozokalk etc.). Eksistensen af kiseludskillende organismer i fortidens havområder har medvirket til en hærkning (forkisling) af tidligere havaflejringer, dannelsen af flintlag og -partier i kalk- og kridtaflejringer samt dannelsen af diatomejord (kiselgur).

Nogle kemiske udskillelser

GLAUKONIT er et grønt mineral (glimmermineral), der udskilles som små korn på havbunden under tilgang af ilt, dvs. på relativt lille havdybde. I Danmark forekommer glaukonit ofte i overgangslagene mellem kredt og danien, i de ældste paleocæne aflejringer samt i de oligocæne aflejringer.

PYRIT eller svovlskis (FeS_2) er et lyst messinggult mineral, der dannes under stærkt reducerende forhold, dvs. uden tilgang af ilt. Pulverfarven er sort og forekomster i pulverform benævnes svovljern. Pyritudskillelse forekommer ofte i aflejringer, der er dannet på relativt store vanddybder. I Danmark træffes pyrit i skrivekridt, dansk kalk samt i de eocæne plastiske lerarter.

Svovljernsudskillelse findes i mange organiske aflejringer og træffes undertiden i marine leraflejringer fra mellemistider samt i det senglaciale yoldialer.

Pyrit og svovljern forvitrer let ved optagelse af ilt og vand til svovlsyre (H_2SO_4) og jernsulfat (FeSO_4). Ved yderligere optagelse af ilt og vand kan jernsulfat omdannes til brunjernsten og svovlsyre.

KISEL eller kvarts er et farveløst mineral, der består af kiselureanhydrid (SiO_2). Kisel er opløseligt i basisk miljø. Ved nedbrydning af organisk materiale uden ilttilgang kan dannes ammoniak, hvorved vandets pH-værdi stiger. Ved $\text{pH} > 9$ kan ske en opløsning af fx skeletter fra kiselvampe etc. Ophører ammoniakproduktionen vil vandets pH-værdi falde og det opløste kisel udskilles. Enhver udskillelse sker lettest på steder, hvor der forefindes en dannelseskim. Kiseludskillelsen vil derfor oftest forefindes i bestemte zoner i en aflejring.

Kisel kan udskilles som bindemiddel mellem de enkelte korn i en tidligere aflejring og dermed bevirke en stærk hærkning (forkisling) af aflejringen. Forkislede zoner træffes i danske kalkaflejringer samt i paleocæne aflejringer.

Flint, der forekommer i bånd og zoner i skrivekridt og danske aflejringer, er en tæt kiselbjergart, der væsentligst skyldes kiselvampe.

Andre aflejringer, der er dannet af kiselafsondrende organismer, er det eocæne moler samt det interglaciale kiselgytje (kiselgur, diatomejord). Oprindelsen skyldes kiselalger (diatomeer). Aflejringerne er løst sammenhængende og meget lette.

Nogle vigtige bjergarter

BASALT er en lavabjergart. Den består af feldspat (plagioklas) og mørke mineraler (augit og magnetjernsten). Bjergarten er finkornet og farven mørk til sort.

GRANIT er en metamorf bjergart. Den består af kvarts, feldspat (kalifeldspat og plagioklas) og glimmer samt lidt hornblende. Farven er som regel grålig eller rødlig.

GNEJS er en metamorf bjergart. Den består hovedsagelig af feldspater, kvarts og glimmer eller hornblende. Den er som regel tydelig sribet på grund af en udtalt orientering af glimmer og hornblende. Farven er normalt grålig eller svagt rødlig.

Kemisk sammensætning af nogle almindelige bjergartsdannende mineraler:

FELDSPATER

Kalifeldspat	KAlSi_3O_8
Alkalifeldspat	$(\text{Na}, \text{K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$
Albit	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Plagioklas	$(\text{Na}, \text{Ca})\text{Al}(\text{Al}, \text{Si})_3\text{O}_8$
Anorthit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$

KVARTS



JERNMINERALER

Magnetit	Fe_3O_4
Jernglans (hematit)	Fe_2O_3
Brunjernsten (limonit)	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Jernspat	FeCO_3

GLIMMERMINERALER

Lys glimmer (muscovit)	$\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Mørk glimmer (biotit)	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Glaukonit	$\text{K}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_2(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

KALKMINERALER OG SALTMINERALER

Kalkspat	CaCO_3
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Anhydrit	CaSO_4
Stensalt	NaCl
Sylvin	KCl

LERMINERALER

Kaolinit	$\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Montmorillonit	$\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Illit	$\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Chlorit	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ + $(\text{Mg}, \text{Al})_3(\text{OH})_6$

PYROXENER

Fx augit	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$
----------	--

AMFIBOLER

Fx hornblende	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_5(\text{Al}, \text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
---------------	--

1.4 HISTORISK GEOLOGI

OVERSIGT

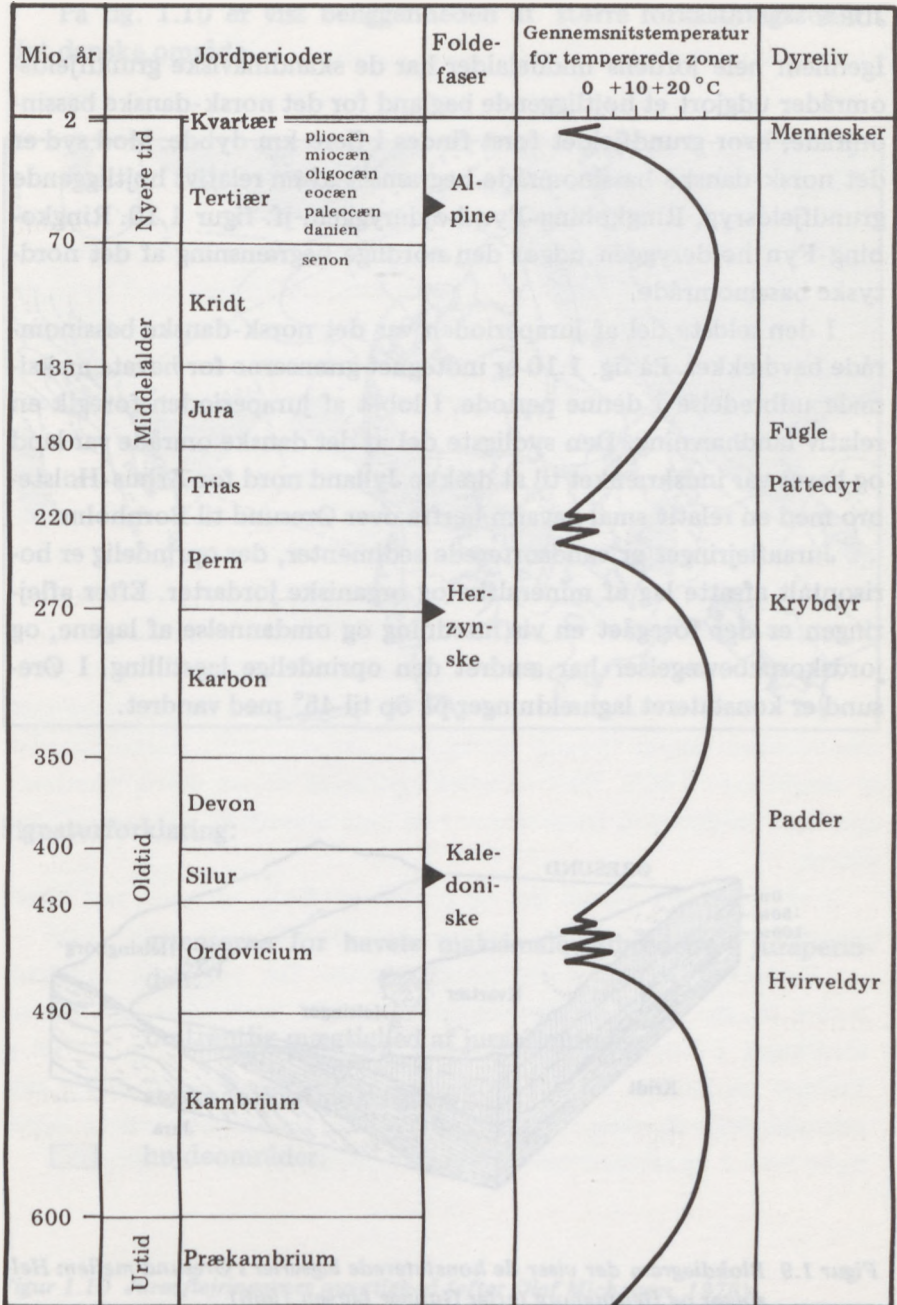
Jordens historie er delt op i forskellige tidsafsnit. Perioden fra jordens tilblivelse for ca. 3 - 4 milliarder år siden indtil for ca. 600 millioner år siden kaldes prækambrium. Bjergarterne fra prækambrium består hovedsageligt af graniter og gnejser. Disse bjergarter danner groft set kernen i de eksisterende kontinenter. Senere perioders aflejringer er lagt uden på disse kerner.

Foldefaser er opstået med perioder på ca. 200 mio. år (se side 1.23). Ved den kaledoniske foldefase for ca. 430 mio. år siden er fx Norges fjelde dannet. Ved den herzynske foldefase for ca. 270 mio. år siden er de mellemtyske bjerge blevet til, og ved den alpine foldefase for ca. 60 mio. år siden er fx Alperne, Himalaya og Rocky Mountains dannet.

Ligeledes med intervaller på ca. 200 mio. år, men noget forskudt i forhold til foldefaserne, er sket temperaturformindskelser, hvilket igen har bevirket dannelse af isdækker ved jordens poler. Vi lever i en sådan periode for øjeblikket.

Fra den danske undergrund kendes aflejringer fra næsten alle geologiske perioder - undtaget er devon. På Bornholm samt i boringer i det øvrige Danmark er fra perioderne kambrium, ordovicium og silur truffet sandsten, skifre og kalksten samt vulkanske materialer, fra karbon kendes især kalksten, fra perm kendes aflejringer af vulkanske materialer og saltbjergarter og fra trias væsentligst ler- og sandaflejringer. Juraperiodens aflejringer består af ler og sand samt brunkulslag.

Inden for Danmarks grænser træffes ovennævnte aflejringer kun blottede på Bornholm. I det øvrige Danmark (vest for Øresund) overlæres de af mægtige lagserier fra de følgende perioder, kridt, tertiær og kvartær. I den nordlige del af Øresund træder juraaflejringer frem i havbunden i den svenske del af sundet.

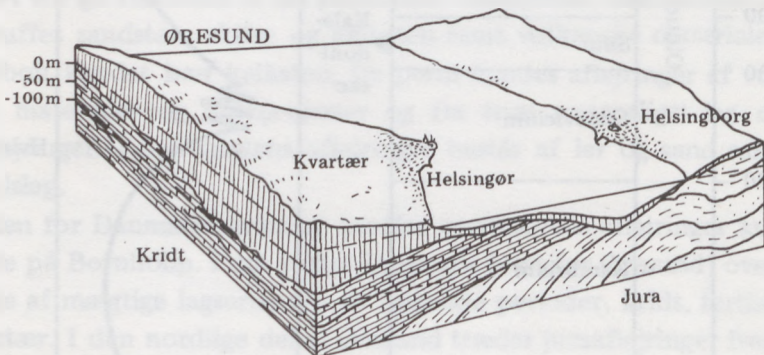


JURA

Igennem hele jordens middelalder har de skandinaviske grundfjeldsområder udgjort et højtliggende bagland for det norsk-danske bassinområde, hvor grundfjeldet først findes i flere km dybde. Mod syd er det norsk-danske bassinområde begrænset af en relativt højtliggende grundfjeldsryg, Ringkøbing-Fyn højderyggen, jf. figur 1.10. Ringkøbing-Fyn højderyggen udgør den nordlige begrænsning af det nordtyske bassinområde.

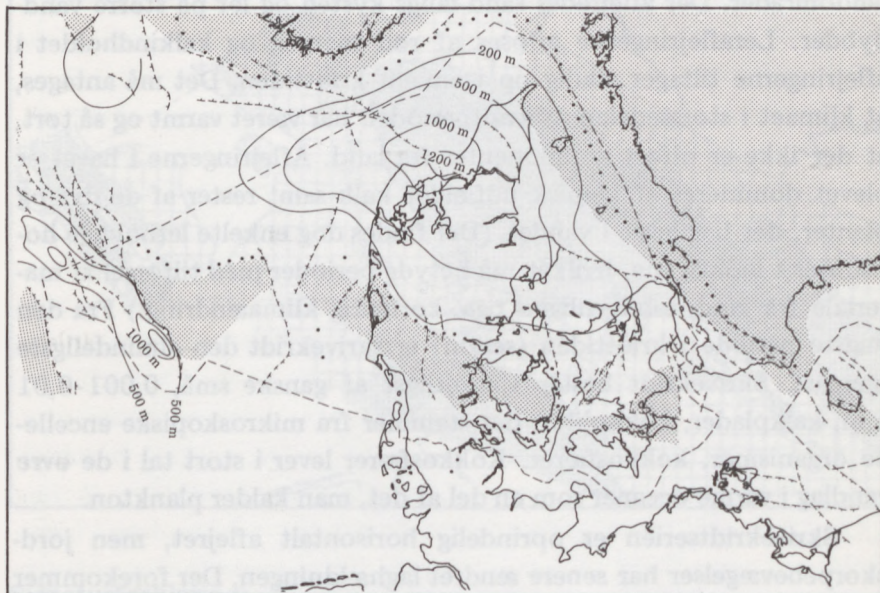
I den ældste del af juraperioden var det norsk-danske bassinområde havdækket. På fig. 1.10 er indtegnet grænserne for havets maksimale udbredelse i denne periode. I løbet af juraperioden foregik en relativ landhævning. Den sydligste del af det danske område var land og havet var indskrænket til at dække Jylland nord for Århus-Holstebro med en relativ smal havarm herfra over Øresund til Bornholm.

Juraaflejringer er vandsorterede sedimenter, der oprindeligt er horisontalt afsatte lag af mineralske og organiske jordarter. Efter aflejringen er der foregået en vis hærkning og omdannelse af lagene, og jordskorpebevægelser har ændret den oprindelige lagstilling. I Øresund er konstateret laghældninger på op til 45° med vandret.



Figur 1.9 Blokdigram der viser de konstaterede lagserier i Øresund mellem Helsingør og Helsingborg (efter Gunnar Larsen 1968)

På fig. 1.10 er vist beliggenheden af større forkastningszoner i det danske område.



Signaturforklaring:

- grænserne for havets maksimale udbredelse i juraperioden.
- omtrentlig mægtighed af juraaflejringer.
- større forkastningszoner.
- højdeområder.

Figur 1.10 Juraaflejringerens mægtighed (efter Olaf Michelsen, 1978).

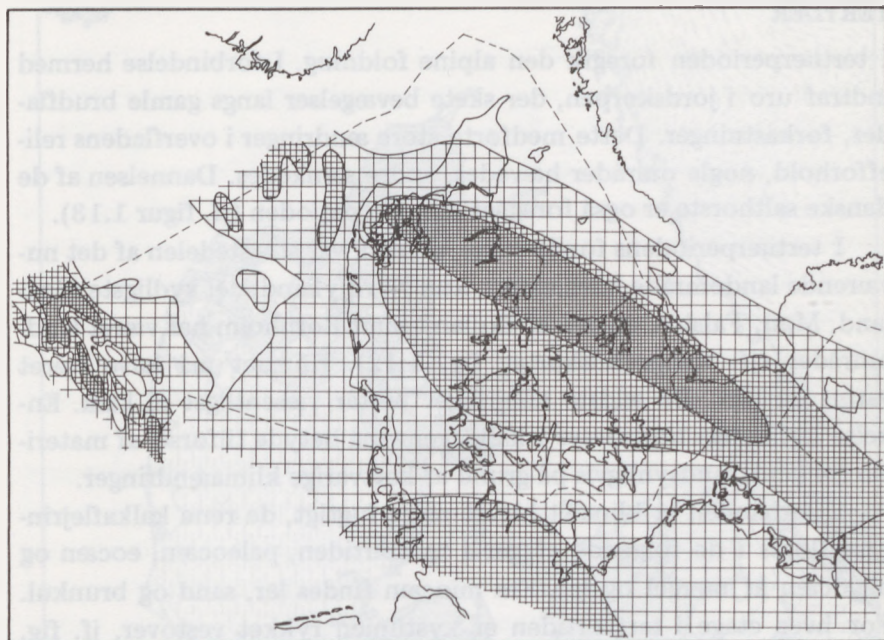
KRIDT

Kridttidens aflejringer præges, som navnet siger, af kridt og kalk. I den ældste del af kridttiden trængte havet ind over de tidligere landområder. Der aflejredes sand langs kysten og ler på større vanddybder. Leraflejringerne afløses af rød mergel, og kalkindholdet i aflejringerne tiltager stadig op igennem kridttiden. Det må antages, at klimaet i størstedelen af kridtperioden har været varmt og så tørt, at der ikke er tilført komponenter fra land. Aflejringerne i havet er blevet domineret af kemisk udfældet kalk samt rester af de dyr og planter, der har levet i vandet. (Der findes dog enkelte lerholdige horisonter i kalklagene, hvilket må betyde perioder med tilførsel af materiale fra land, sandsynligvis pga. kortvarig klimaændring.) Fra den yngste periode i kridttiden (senon) er skrivekridt den almindeligste bjergart. Skrivekridt består væsentligst af ganske små, 0,001-0,01 mm, kalkplader, kokkoliter, der stammer fra mikroskopiske encellede organismer, kokkosfærer. Kokkosfærer lever i stort tal i de øvre vandlag i varme oceaner som en del af det, man kalder plankton.





Skrivekridtserien er oprindelig horisontalt aflejret, men jordskorpebevægelser har senere ændret laghældningen. Der forekommer almindeligvis ingen tydelig lagdeling i skrivekridtet. Kalkindholdet er meget nær 100%. Skrivekridtet optræder oftest delvis hærdenet, men kan undertiden forekomme i en helt uhærdenet pastaagtig konsistens.

I skrivekridtet findes lag og partier af flint, en hård, tæt kiselbjergart, der stammer fra kiselorganismer i havet.

Skrivekridtseriens mægtighed varierer fra nogle få hundrede meter til ca. 2000 m. Skrivekridtet danner underlaget for istidens aflejringer i Nordjylland, Møn, det sydligste Sjælland og en del af Lolland og Falster. I disse egne er ofte truffet en meget ujævn skrivekridtoverflade, idet opløsningsprocesser har dannet flere meter dybe revner og »skorstene«, der så er fyldt med yngre aflejringer.



Signaturforklaring:

-  0 - 300 m
-  300 - 600 m
-  600 - 900 m
-  > 900 m

Figur 1.11 Skrivekridtseriens omtrentlige mægtighed (efter E. Stenestad, 1971 samt F.B. Childs og P.E.C. Reed, 1975).

TERTIÆR

I tertiærperioden foregik den alpine foldning. I forbindelse hermed indtraf uro i jordskorpen, der skete bevægelser langs gamle brudflader, forkastninger. Dette medførte store ændringer i overfladens reliefforhold, nogle områder hævedes, andre sænkedes. Dannelsen af de danske salthorste er også foregået i tertiærperioden (jf. figur 1.13).


















I tertiærperiodens første etage, danien, var størstedelen af det nuværende landområde havdækket, kun Nordjylland, det sydligste Sjælland, Møn, Falster, en del af Lolland samt Bornholm har været landområder (jf. dybgrundskortet fig. 1.12). Klimaet må have været varmt og tørt. De ældste aflejringer består væsentligst af kalk. Enkelte lerholdige horisonter i kalklagene må betyde tilførsel af materiale fra land, sandsynligvis på grund af kortvarige klimaændringer.

Efterhånden er klimaet blevet mere fugtigt, de rene kalkaflejringer afløses i de følgende etager i tertiærtiden, paleocæn, eocæn og oligocæn af mergel og ler. Fra miocæn findes ler, sand og brunkul. For hver etage i tertiærtiden er kystlinien rykket vestover, jf. fig. 1.12. Aflejringer fra miocæn træffes således kun i Jylland og i tertiærtidens yngste etage, pliocæn, har hele det nuværende danske landområde ligget over havspejlsniveau.

Temperaturerne har været højere end i dag, især i eocæn, hvor der må antages at have været tropisk eller subtropisk klima. Alle tertiære aflejringers oprindelige laghældning er ændret ved senere jordskorpebevægelser.

TERTIÆRPERIODENS INDELING			
mio. år		periode	aflejringer
2	TERTIÆR	PLIOCÆN	Ingen aflejringer i Danmark
12		MIOCÆN	Glimmerler, Glimmersand, brunkul
25		OLIGOCÆN	Septarieler, glimmerler
35		EOCÆN	Plastisk ler, moler, vulkansk aske
55		PALEOCÆN	Kertemindeler og -mergel, grønsandsaflejr.
65		DANIEN	Kalksandskalk, bryozokalk
70			



	Gotlandium og Ordovicium		Danien		Basalt
	Gotlandium, Ordovicium og Kambrium		Øvre Kridt		Pliocæn
	Kambrium (Nexosandsten)		Nedre Kridt		Miocæn
	Kambrium		Rhaet-Jura		Oligocæn
	Granit		Trias		Eocæn
	Gnejs		Perm		Paleocæn

Figur 1.12. Danmarks dybgrund (efter Th. Sorgenfrei 1954).

Danien

Grænsen mellem skrivekridtlagene og de overliggende kalkaflejringer erkendes undertiden ved en hærdnet, glaukonitholdig zone, hvilket tyder på en ringe havdybde ved overgangen til danien (jf. side 1.20).

I danientiden er havet på ny trængt frem over Danmark. I Nordsoen består aflejringerne fra danien væsentligst af slamkalk, men indenfor det nuværende landområde er hovedsageligt afsat bryozokalk. Bryozokalken består for størstedelen af skeletrester efter mosdyrkolonier, bryozoer, der har levet på havbunden i banker. Disse små gennede bryozostængler er kittet sammen af udfældet kalkslam. Kalkaflejringerne har derfor ofte bankestruktur. Parallelt med lagene i bankerne er udskilt flint.

Bryozokalken forekommer almindeligvis mere eller mindre hærdnet. Ved Fakse findes områder med koralkalk, hvor koralskeletterne er meget velbevarede. Koralkalken træffes vekslende med lag af bryozokalk. Havdybden har ikke været særlig stor, idet korallerne kræver en vis lysmængde. I koralkalken er ikke truffet flintlag, men kalken er på steder stærkt hærdnet ved udskilt kisel.

Overgangen fra bryozokalkaflejringerne til den yngste aflejring i danien, kalksandkalk, erkendes ofte ved en stærkt hærdnet, glaukonitrig zone, hvilket kunne tyde på en meget ringe vanddybde.

Kalksandkalken er en havaflejret kalkbjergart, som oprindeligt afsattes i horisontale lag. Kalksandkalken er let grålig på grund af et lille lerindhold, den er oftest hærdnet eller stærkt hærdnet, men kan enkelte steder indeholde partier af uhærdnet materiale. I kalksandkalken findes mange flintlag og flintpartier, og bjergarten er gennemsat af sprækkesystemer. Kalkbjergarternes oprindelige laghældning er ændret ved senere jordskorpebevægelser.

De danske kalkbjergarter danner direkte underlag for istidens aflejringer på en stor del af Sjælland samt i et område i den nordlige del af Jylland (jf. dybgrundskortet side 1.29). Danskekalk kan træffes i mægtigheder op til ca. 200 m. Den omtrentlige kote til danienaflejringerens overside er vist på figur 1.13.



Signaturforklaring:

- omtrentlig kote til overside danienaflejringer
- ingen danienaflejringer
- salthorst
- saltpude

Figur 1.13 Omtrentlig kote til danienaflejringerens overside samt beliggenhed af salthorste og saltpuder (efter F.B. Childs and P.C. Reed 1975, Arne Dinesen, Olaf Michelsen og Kirsten Lieberkind 1977 og J.C. Baartman 1976).

Paleocæn

Efter danien har havet midlertidigt været borte fra det danske område. De paleocæne aflejringer indledes mange steder med et glaukonitholdigt lag, der består af sammenkittede rullesten og talrige omløjrede fossiler fra danienkalken (bundkonglomerat).

Bundkonglomeratet overlejres af glaukonitholdige aflejringer, grønsandsaflejringer, i form af grønsandssand, -kalk og -ler. Efterhånden tiltog havdybden, og de væsentligste paleocæne aflejringer i det fynske og jyske område består af gråt kalkrigt ler, det såkaldte kertemindeler eller kertemindemergel. Såvel i kertemindelaflejringerne som i grønsandsaflejringerne forekommer hærdnede og stærkt hærdnede zoner.

I det østlige Sjælland forekommer pletvis rester af grønsandsaflejringer, men isens virksomhed i området har medført en afhøvling af større eller mindre dele af lagserien. Kertemindelaflejringer danner direkte underlag for de kvartære aflejringer på en stor del af Sjælland, størstedelen af Fyn samt den sydlige del af Djursland.

De paleocæne lagserier er truffet i mægtigheder op til ca. 150 m.

Eocæn

Op gennem paleocænserien kan konstateres et aftagende indhold af glaukonit og tiltagende indhold af pyrit (jf. side 1.20). Pyrit dannes normalt under stærkt reducerende forhold, dvs. forhold, hvor der ikke er adgang for ilt. Det må derfor antages, at vanddybden er tiltaget, hvilket svarer til en konstateret aftagen i kornstørrelse i trufne aflejringer. De eocæne lag omfatter næsten udelukkende aflejringer af meget fedt ler. Den nedre del af den eocæne lagserie består i Limfjordsområdet af moler, diatomejord. Moleret er en let, porøs lerart på grund af et stort indhold af luftfyldte skaller af mikroskopiske kiselalger, diatomeer. Det højporøse moler har i mange år været anvendt til fremstilling af isolerende bygningssten. I moleret kan forekomme kalkrige hærdnede partier, cementsten. Molersaflejringerne, der har en mægtighed på ca. 60 m, indeholder ca. 200 lag af vulkansk aske (fra vulkaner i Skagerak).

I den øvrige del af landet består den nedre del af den eocæne lagserie af op til ca. 25 m mægtige lag af gråt (sort eller brunt), fedt ler, hvori de samme askelag indgår. Askeserien overlejres af plastisk ler. Det består hovedsageligt af lermineraleerne montmorillonit og illit, og kornstørrelser mindre end 0,002 mm udgør mere end 90% af materialet. De plastiske lerer (Røsnæsler, Lillebæltser) har som regel stærke farver - rødlige, rødbrune, grønne eller grålige. De kan forekomme i mægtigheder på op til ca. 100 m. De plastiske lerer overlejres af en lysegrå mergel, søvindmergel, der kan træffes i mægtigheder på op til ca. 100 m. Søvindmergelen er en lys, overordentlig kalkrig, fed ler, med stort set samme egenskaber som de plastiske lerer.

De eocæne aflejringer danner direkte underlag for de kvartære aflejringer i den vestlige del af Sjælland, den sydlige del af Lolland, Langeland og Samsø, den syd- og vestligste del af Fyn samt i et område mellem Århus og Randers, mellem Mariager og Hvalpsund på Fur og den nordligste del af Mors.

Oligocæn

Der er ikke i Danmark truffet aflejringer fra nedre oligocæn. Aflejringerne fra mellem-oligocæn består af grågrønt, fedt ler, der kaldes septarieler (efter kalkkonkretioner) eller brandenler. Septarieler er knapt så fedt som det eocæne plastiske ler, og det kan indeholde glaukonit, glimmer og finsand. Septarieleret er truffet i mægtigheder på op til ca. 80 m.

Aflejringerne fra øvre-oligocæn består væsentligst af mørkt, sandet glimmerler, cilleborgler, der kan være vanskeligt at skelne fra det overliggende miocæne glimmerler. Det er truffet i mægtigheder på op til ca. 50 m. I det sydlige Danmark træffes oligocæne sandaflejringer, der kan være sammenkittet til en sandsten (Øxenradesandsten), og ved Middelfart findes rustfarvede lag af jernsandsten (limonit). De oligocæne jordarter danner direkte underlag for de kvartære aflejringer på det nordlige Als, langs Lillebælts kyster, omkring Middelfart og Fredericia, langs Jyllands østkyst mellem Vejlefjord og Århus samt i en bræmme fra Århus over Hobro til Salling, Mors og Thy.

Miocæn

De miocæne aflejringer er opbygget af vekslende serier af marine dannelser og ferskvandsdannelser. Kystlinien har i miocæn flyttet sig frem og tilbage i Jylland. Der har været sumpe og floddeltaer, hvor plantemateriale ophobedes. Dette er senere omdannet til brunkul.

De miocæne dannelser består dels af mørke, brunlige lag af glimmerler, dels af sandlag, der på steder består af næsten rent lyst kvarts-sand. Flere steder i Midtjylland indeholder de miocæne ferskvandsdannelser anselige brunkulsforekomster.

Glimmerleret er ofte siltrigt, og den mørke farve skyldes et stort indhold af omdannet organisk stof (bitumen).

De miocæne lagserier, der er truffet i mængtigheder på mere end 200 m, danner direkte underlag for de kvartære aflejringer i størstedelen af Jylland syd for en linie fra Århus til Thy.

Pliocæn

Pliocæne aflejringer er ikke med sikkerhed truffet i Danmark.



Figur 1.14 Kvartærlagets omtrentlige mægtighed (efter V. N. D. Caston 1979).

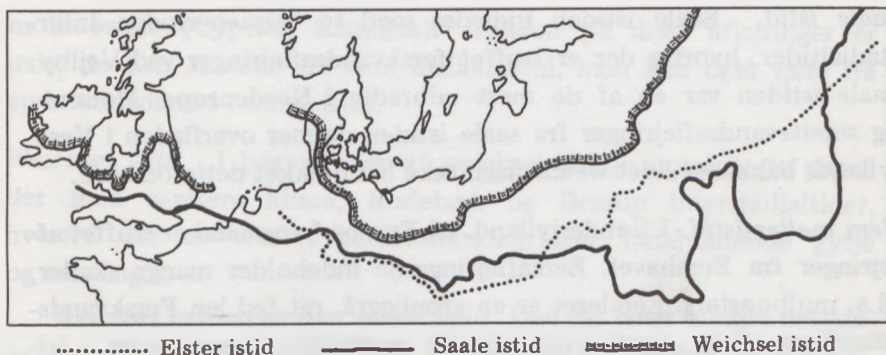
KVARTÆR

Istider. Mellemistider

I den sidste del af tertiærperioden er klimaet blevet koldere, isdækket i polarområderne tog til, og der dannedes ismasser i alperne, i Norges bjerge og andre høje bjerge. Det tidspunkt, hvor disse ismasser begyndte at bevæge sig ud over omliggende områder er defineret som kvartærperiodens start.

Kvartærperioden har været præget af store klimasvingninger. Ved studie af vidnesbyrd om klimasvingninger og vandstandsvariationer i områder, der ikke har været isdækket, er man kommet til en antagelse om, at der har eksisteret 6 istider og 5 varme mellemistider med gode betingelser for rigt organisk liv. Undersøgelser af planterester i kvartære lagserier i Nordeuropa har givet grundlag for sammenstilling af en temperaturkurve som vist på fig. 1.16. De større kuldeperioder, hvor sommertemperaturen var under $10-12^{\circ}$, opfattes som istider, de langvarige varmeperioder som mellemistider og de mindre varmeperioder inden for istiderne benævnes interstadialtider.

I Danmark er truffet aflejringer fra de 4 sidste istider og de 3 sidste mellemistider. Kvartæraflejringerenes mægtighed på land overstiger kun rent lokalt 100 m.



Figur 1.15 *Det skandinaviske isdækkes udbredelse i Nordeuropa under Elster istiden, Saale istiden og Weichsel istiden (efter P. Woldstedt m.fl.)*

Menap istid. Ved Harreskov i Midtjylland er fundet moræneler, hvilende på miocænt glimmerler og overlejret af søaflejringer, der ved pollenanalyser er dateret til cromer mellemistid. Moræneleret tilhører derfor sandsynligvis menap istiden.

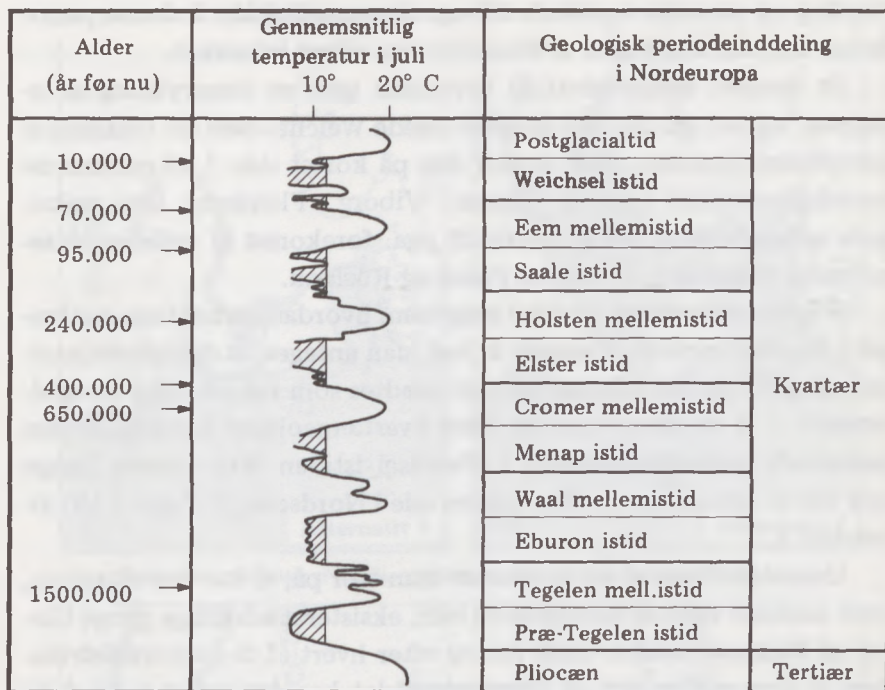
Cromer mellemistid. Fra flere lokaliteter kendes ferskvandsaflejringer i form af kalkgytje og kiselgytje, der er dateret til cromer mellemistid.

Elster istid. I begyndelsen af elster istiden var to varmeperioder, interstadialtider, hvorfra der er fundet ferskvandsaflejringer ved Ølgod i Jylland. Under lag fra holsten mellemistid er i Vestjylland truffet sandede moræneaflejringer med et stort indhold af glimmerler.

Holsten mellemistid. Ved Esbjerg og Ribe er truffet op til 60 m mægtige havaflejringer. Aflejringerne består væsentligst af mørkt sandet ler. De nederste lag indeholder koldtvandsmuslinger som *Yoldia arctica*. Aflejringerne kaldes Esbjerg yoldialer. Ferskvandsaflejringerne domineres af kiselgytje. Ved Vejlbjby i nærheden af Fredericia findes ca. 20 m mægtige lag af kiselalgegytje - også kaldet kiselgur eller diatoméjord. Det udnyttes til isolationsmateriale i lighed med det eocæne moler.

Saale istid. Saale istiden indledes med to varmeperioder, interstadialtider, hvorfra der er truffet ferskvandsaflejringer ved Vejlbjby. Saale istiden var en af de mest udbredte i Nordeuropa. Moræne- og smeltevandsaflejringer fra saale istiden danner overfladen i Vestjyllands bakkeøer, idet weichelisen ikke har dækket dette område.

Eem mellemistid. I Sønderjylland, på Fyn og Langeland er truffet aflejringer fra Eemhavet. Eemaflejringerne indeholder mange skaller, bl.a. molboøsters. Eemleret er en grønliggrå, ret fed ler. Ferskvandsaflejringer af ler, sand, gytje og tørv er truffet mange steder i Jylland. I Vendsyssel er truffet marine aflejringer indeholdende skaller af *Yoldia arctica* (ældre yoldialer) og enkelte steder på Sjælland, Hven og Møn er truffet marine leraflejringer indeholdende



Figur 1.16 Den sandsynlige sommertemperatur i Nordeuropa (efter W. H. Zagwijn og S. T. Andersen)

molboøsters (*Cyprina islandica*). Alderen på disse aflejringer er uvis, de kan stamme fra eem mellemistid, men kan også være fra en interstadialtid i sidste istid.

Weichsel istid. I begyndelsen af weichsel istiden optrådte to perioder med varmere klima, Rodebæk og Brørup interstadialtider, hvorfra der er truffet ferskvandsaflejringer indeholdende gytje og tørvelag.

Weichsel istiden er den sidste istid. Den var langt mindre betydelig end den foregående istid både i henseende til varighed og til iskapens størrelse og udbredelse.

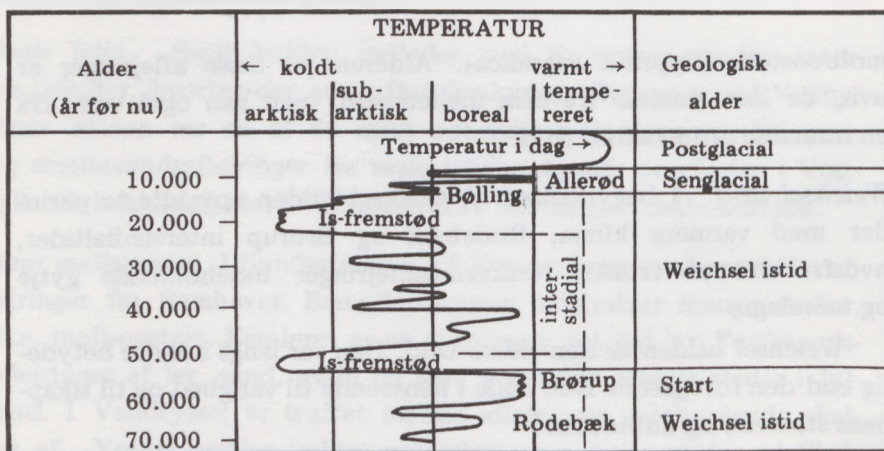
Weichsel istiden startede med et isfremstød, der havde den største udbredelse for ca. 50.000 år siden. Derefter indtrådte en temperatur-

stigning og isranden smeltede tilbage (interstadialtid). I denne periode har kun det nordligste af Skandinavien været isdækket.

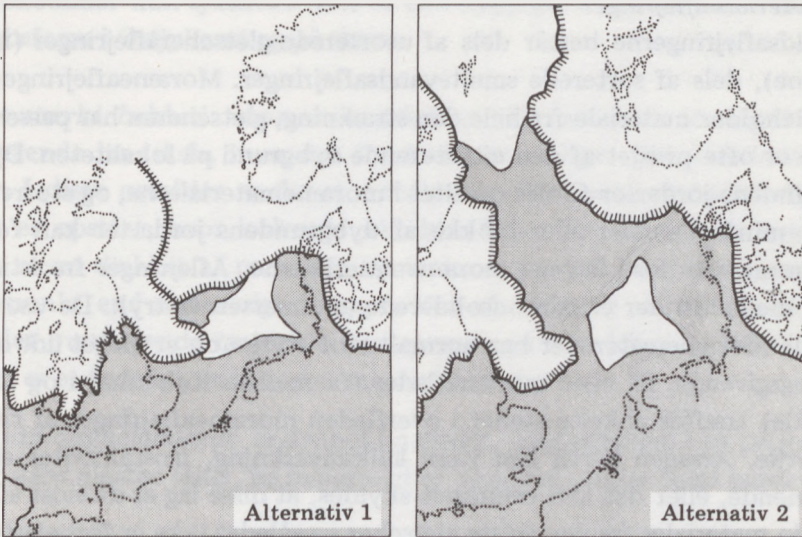
Et fornyet temperaturfald bevirkede igen en fremrykning af iskappen, og for ca. 20.000 år siden nåede Weichel-isen sin maksimale udbredelse. Isranden stod da ved den på kortet side 1.43 markerede hovedopholdslinie Lemvig - Struer - Viborg - Flensborg. Den maksimale udbredelse er iøvrigt velkendt pga. forekomst af tydelige endemoræner i England, Tyskland, Polen og Rusland.

Kvartærgeologerne er ikke enige om, hvordan forholdene har været i Nordsøområdet. I mange år har man antaget, at den skandinaviske iskappe og den britiske iskappe mødtes som vist på figur 1.18, alternativ 1. I de senere år har flere kvartærgeologer hævdet, at den maksimale nedisningsperiode i Weichsel-istiden ikke varede længe nok til, at ismasserne kunne mødes ude i Nordsøen, jf. figur 1.18, alternativ 2.

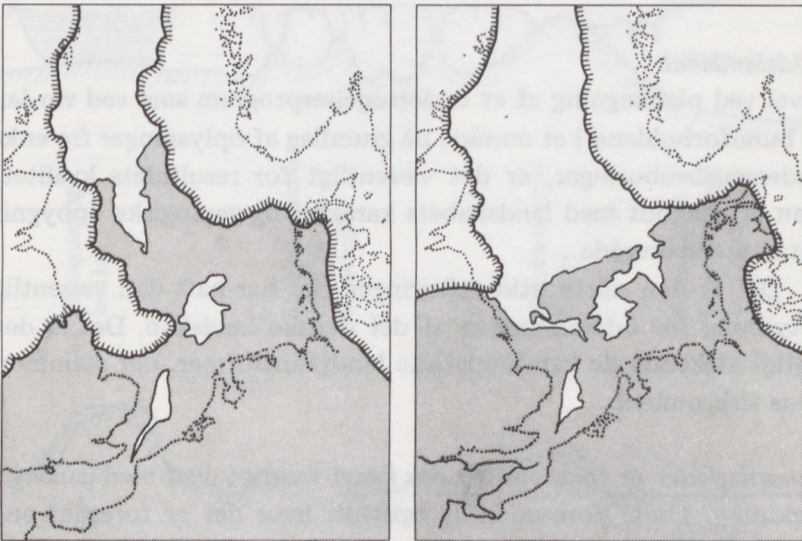
Uanset hvilken af de to teorier man tror på, så har den situation, hvor centrale dele af Nordsøen er isfri, eksisteret adskillige gange i løbet af Weichsel-istiden både før og efter hvert af de to hovedisfremstød. I den sydlige del af Nordsøområdet har der været land. I de nordlige dele er havet trængt ind fra nord, hvor der enten har været åbent ishav eller havis, som ved Nordpolen i dag.



Figur 1.17 Temperaturvariationer under og efter sidste istid (efter G. R. Coope og C. H. S. Sands 1966)



Forskellige opfattelser af Nordsøområdet ved Weichselisens maksimale udbredelse



Nordsøområdet ca. 15.000 f.Kr.

Nordsøområdet ca. 10.500 f.Kr.

 Gletscher
 Vanddækket område

 Landområde
 Nuværende landgrænser

Figur 1.18 Nordsøen under Weichsel-istiden (efter G. Hoppe 1959 og H. Reinhard 1974)

Istidernes aflejring

Istidsaflejringerne består dels af usorterede gletscheraflejring (moræne), dels af sorterede smeltevandsaflejring. Moræneaflejringerne indeholder materiale fra hele den strækning, gletscheren har passeret. De er ofte præget af den eksisterende dybgrund på lokaliteten. Dybgrundens jordarter findes opæltet i morænematerialerne, og større eller mindre partier eller blokke af dybgrundens jordarter kan forekomme som løse flager i morænematerialerne. Aflejring fra istider og mellemistider er forkonsoliderede af ismassernes tryk. De usorterede morænematerialer har normalt stor styrke og er meget lidt sætninggivende. På visse moræneflader (fx mellem København og Roskilde) træffes enkelte steder i overfladen moræneaflejring af ringe styrke. Årsagen hertil kan være kalkudvaskning, frostaktivitet eller lignende, eller det kan eventuelt skyldes, at disse lag er de sidst aflejrede materialer fra den sidste gletscher og således ikke er forbelastede af en iskappe.

Istidslandskab

Såvel ved planlægning af et undersøgelsesprogram som ved vurdering af bundforholdene i et område på grundlag af oplysninger fra enkelte undersøgelsesboringer, er det væsentligt for resultatets kvalitet, at man er bekendt med landskabets karakter og geologiske opbygning i det aktuelle område.

Det er den sidste istids aflejring, der har haft den væsentligste betydning for udformningen af det danske landskab. Det er derfor vigtigt at kende de karakteristiske landskabsformer, der stammer fra isens virksomhed.

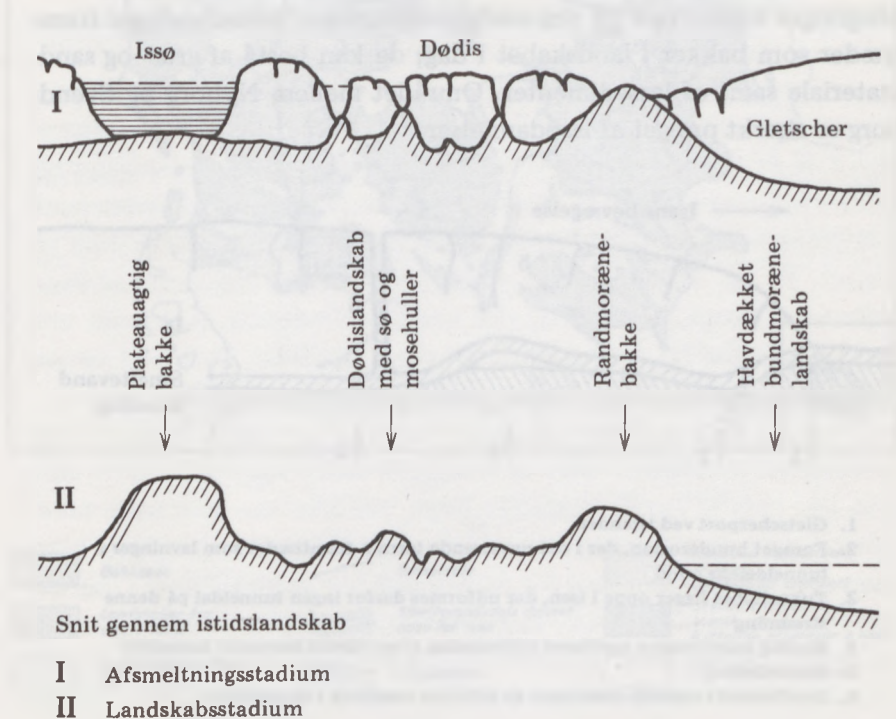
Moræneflader er flade sletter, der ligger vandret eller med ganske lille hældning. De er formodentlig opstået, hvor der er foregået en ret hurtig afsmeltning af en gletscher med meget jævnt fordelt materiale i isen (fx mellem København og Roskilde).

Det bølgede morænelandskab (storkuperet) er et landskab med jævne overgange mellem højt og lavere liggende terræn. Afløbsløse lavninger

forekommer kun sjældent. Det er den hyppigst forekommende landskabsform i Østjylland og på Øerne.

Det stærkt bakkede morænelandskab (småkuperet) er et meget afvekslende landskab, hvor der forekommer mange afløbsløse lavninger. I disse områder er der stor risiko for forekomst af dødishuller, der er opstået, hvor isolerede isblokke foran den afsmeltede isrand har været dækket af materiale og derfor er smeltet på et langt senere tidspunkt end den øvrige iskappe. Ved afsmeltning af dødisblokken er det overliggende materiale styrtet sammen. Landskabet i NØ-Sjælland er et tydeligt småkuperet morænelandskab.

Randmorænelandskab er dannet på steder, hvor isranden i en periode har stået næsten stille, og materialet er ophobet i volde langs randen.

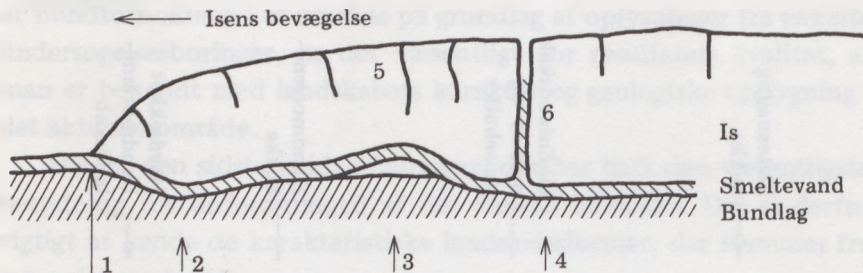


Figur 1.19 Snit gennem istidslandskab (efter Johs. Krüger 1971)

Tunneldale er dannet under iskappen af kraftige smeltevandsstrømme, der har banet sig vej mod isranden. Der er foregået erosion ved store vandmængder og -hastigheder og aflejring af materiale ved mindre vandhastigheder. De østjyske fjorde og ådalssystemer er oprindelig tunneldale fra den sidste istid.

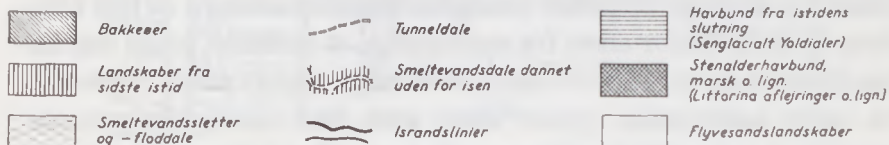
Åse fremtræder i det nuværende landskab som bakker af smeltevandsmateriale. De er dannet, hvor smeltevandsstrømmen i tunneler eller sprækker i isen mistede transportevnen. Det aflejrede materiale er sorteret efter kornstørrelse. I Jylland forekommer kun få og små åse, men de er mere almindelige på Fyn og Sjælland (fx Strø Bjerger, Køge Ås, Mogenstrup Ås).

Issøaflejringer er opstået ved sedimentation af materiale i stillestående vand i sprækker og bassiner i isen. Da isen smeltede er søens randaflejringer væltet ned på det omliggende terræn. Issøaflejringer fremtræder som bakker i landskabet i dag; de kan bestå af grus- og sandmateriale samt af lersedimenter. Området mellem Nyborg og Svendborg er stærkt præget af issødannelser.



1. Gletscherport ved isranden
2. Forøget bunderosion, der i det nuværende terræn fremtræder som lavninger i tunneldalens bund
3. Tunnelløbet ligger oppe i isen, der udformes derfor ingen tunneldal på denne strækning
4. Kraftig bunderosion medfører udformning af en stærkt markeret tunneldal
5. Spaltefyldt is
6. Smeltevand i isspalte medvirker til det høje vandtryk i tunnelløbet

Figur 1.20 Længdesnit gennem tunnelløb udformet af smeltevand (efter I. Reu-
mert)



Figur 1.21 Danmarks kvartære overflade (efter S. Hansen og K. Milthers 1954)

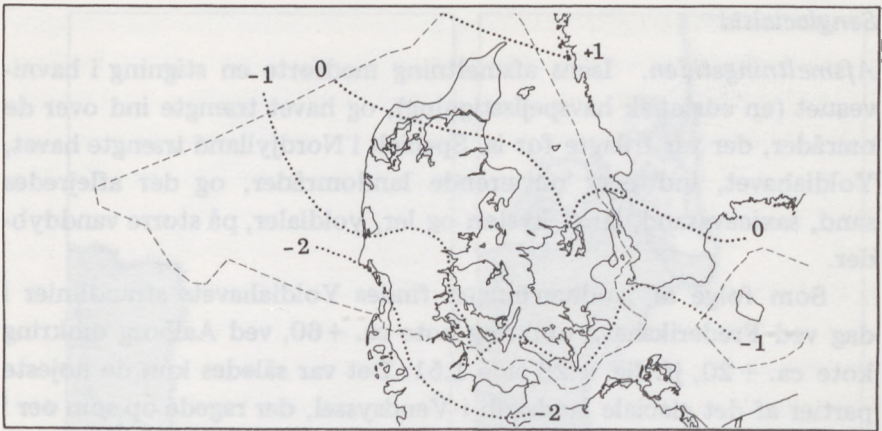
Niveauforandringer efter istiderne

Niveauforandringer under og efter en istid skyldes dels ændringer i havspejlsniveau, dels ændringer i landniveau. Under istider bindes store vandmasser i gletschere, hvilket bevirker en betydelig havspejls-sænkning over hele verden (eustatisk havspejls-sænkning). Man regner med, at havspejlet under istiderne har stået ca. 80-150 m lavere end i dag. Ved ismassernes afsmeltning frigives vandet atter, og havspejlet stiger (eustatisk havspejlsstigning).

De store gletschere i istiden må have været kilometertykke i de centrale dele af Skandinavien. Vægten af disse enorme ismasser har bevirket en nedpresning af jordskorpen under de isdækkede områder (isostatisk landsænkning), og måske en lille hævnning af omkringliggende områder. Efter ismassernes afsmeltning foregår en hævnning af de aflastede landområder (isostatisk landhævning).

Eustatiske havspejlsvariationer forekommer i takt med ændringer i ismasserne, isostatisk variationer er meget langsomme. Hvis den isostatisk landhævning er større end den eustatiske havspejlsstigning bliver resultatet en landhævning, men på grund af den store tidsforskel i de to processers forløb, vil en afsmeltning af store ismasser bevirke en havspejlsstigning og først ganske langsomt indtræder landhævningerne. Landhævningerne efter sidste istid er endnu ikke afsluttet, jf. fig. 1.22. Landhævninger finder sted i det meste af Storbritanien, Norge, Sverige og det nordlige Danmark, mens det omvendte er tilfældet i det sydlige England, Holland, Tyskland og det sydlige Danmark.

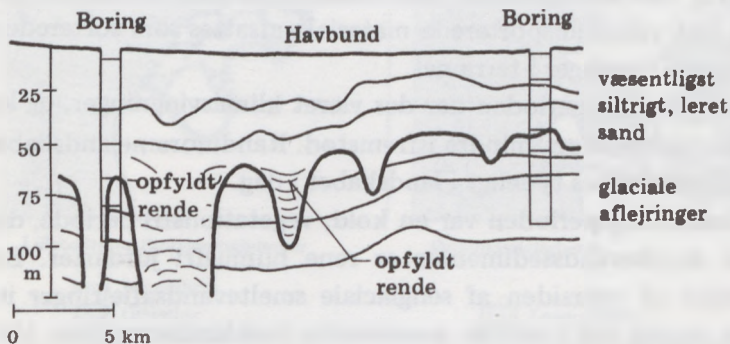
Ved iskappens maksimale udbredelse under sidste istid må det antages, at de centrale dele af Nordsøen enten har været isfrie eller kun har haft et tyndt isdække. Disse områder kan kun have været udsat for en ringe isostatisk landsænkning eller muligvis en lille hævnning. Det må derfor anses for sandsynligt, at områder, som i dag har vanddybder på ca. 120-140 m — eller måske endda mere — kan have været landområder under sidste istid. Den nuværende gennemsnitsdybde i Nordsøen varierer mellem ca. 40 m i den sydlige del og ca. 170 m i den nordlige del.



Figur 1.22 Bevægelsen i det danske område i mm/år (efter West 1968).

Bundforhold i Nordsøen

Langs Norges og Storbritanniens kyster findes fjeldet stedvis blotlagt, men Nordsøområdet i øvrigt er et morænelandskab med moræneaflejringer og smeltevandsaflejringer. På steder forekommer grus- og stenbanker, som antagelig er israndsdannelse. I lavninger i området forekommer bløde, normalkonsoliderede jordarter med ringe styrke og relativt stort vandindhold, men i det meste af Nordsøområdet består de yngste sedimenter af ret ensartede sandaflejringer. Mægtigheden af disse aflejringer kan variere en hel del afhængig af forekomsten af tidligere erosionskanaler i de underliggende lag (jf. figur 1.23).



Figur 1.23 Geologisk profil fra Nordsøen baseret på resultater dels fra borer, dels fra seismiske undersøgelser (efter M. E. Milling 1975).

Senglacialtid

Afsmeltningstiden. Isens afsmeltning medførte en stigning i havniveauet (en eustatisk havspejlsstigning), og havet trængte ind over de områder, der var frilagte for is. Specielt i Nordjylland trængte havet, Yoldiahavet, ind over nuværende landområder, og der aflejredes sand, saxicavasand, langs kysten og ler, yoldialer, på større vanddybder.

Som følge af landhævningen findes Yoldiahavets strandlinier i dag ved Frederikshavn omkring kote ca. +60, ved Aalborg omkring kote ca. +20, jf. fig. 1.26 side 1.51. Det var således kun de højeste partier af det glaciale landskab i Vendsyssel, der ragede op som øer i Yoldiahavet.

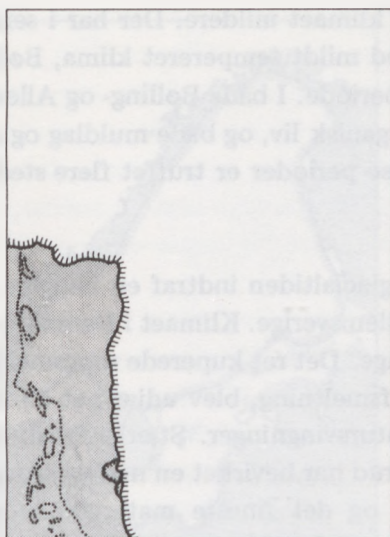
Yoldiahavet var et ishav med en begrænset organisk produktion. Yoldiahavets aflejringer består derfor af rene humusfri sedimente. I de øverste lagserier kan dog på steder træffes enkelte planterester. Yoldialeret er en grå, ret fed ler. Karakteristisk for denne lerforekomst er et indhold af talrige finsandsstriber, der ofte med knivskarpe grænser findes indlejret i yoldialeret.

I istiderne har til stadighed fosset smeltevand ud over landskabet foran den værende isrand. I sidste istid blev der af smeltevandet foran isens hovedopholdslinie i Jylland aflejret betydelige sedimentserier, hvorved de jyske hedesletter dannedes.

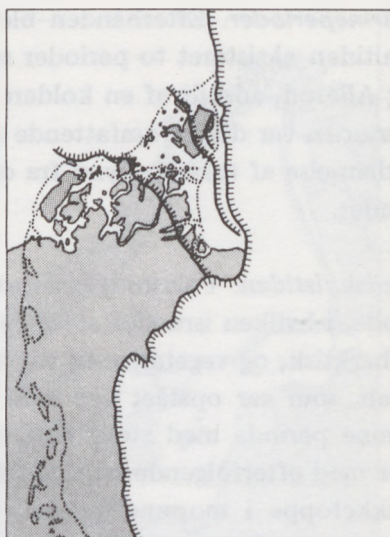
Efterhånden som isen smeltede, skyllede smeltevand ud over det efterladte morænelandskab. Smeltevandsstrømme eroderede i landskabet, det vandtransporterede materiale afsattes som sortererede sedimentserier i lavninger i terrænet.

I afsmeltningssperioden har der været klimasvingninger, og kuldeperioder har medført mindre isfremstød. Randmorænelandskaber fra disse isfremstød ses tydeligt i landskabet i dag.

Afsmeltningssperioden var en kold, vegetationsfri periode, de senglaciale smeltevands sedimente er rene humusfri jordarter. En bestemmelse af oversiden af senglaciale smeltevandsaflejringer indgår som et vigtigt led i mange geotekniske bundundersøgelser, idet der under smeltevandsaflejringerne udelukkende træffes jordarter, der er forkonsolideret af ismasserne.



Hovedopholdslinien



Østjyske opholdslinie



Lillebælts- og Storebæltsgletscher



Øresundsgletscheren

- | | | | |
|---|-------------------|---|-----------------------|
|  | Israndslinie |  | Landområde |
|  | Gletscher |  | Nuværende landgrænser |
|  | Vanddækket område | | |

Figur 1.24 *Stadier i Weichselisens afsmeltning (efter H. Wienberg Rasmussen 1968)*

Varmeperioder. Efterhånden blev klimaet mildere. Der har i senglacialtiden eksisteret to perioder med mildt tempereret klima, Bølling og Allerød, adskilt af en koldere periode. I både Bølling- og Allerød-perioden var der et omfattende organisk liv, og både muldrag og mosdannelse af tørv og dynd fra disse perioder er truffet flere steder i landet.

Nedskylstiden. I slutningen af senglacialtiden indtraf en længere periode, i hvilken isranden stod i Mellemsverige. Klimaet i Danmark var subarktisk, og vegetationen var ringe. Det ret kuperede morænelandskab, som var opstået ved isens afsmeltning, blev udjævnet en del i denne periode med store temperatursvingninger. Stærke frostperioder med efterfølgende heftige tøbrud har bevirket en nedbrydning af bakketoppe i morænelandskabet, og det fineste materiale er som slammasser flydt ud i omkringværende lavninger. Disse aflejringer af senglacialt nedskylsslam består oftest af siltrige, ret slappe jordarter iblandet lidt humus og plantefibre fra den daværende tundravevning.

De senglaciale nedskylsaflejringer forekommer i lavninger i det oprindelige morænelandskab, og dækker derfor ofte over humusrige aflejringer fra de senglaciale varmemperioder. Undertiden er det oprindelige morænelandskab delvis udjævnet af aflejringer fra nedskylstiden.

Igennem hele senglacialtiden er sket en landhævning af de områder, der er blevet befriet for ismassernes vægt (isostatisk landhævning). I de senglaciale varmemperioder lå Danmark langt højere i forhold til vandspejlet end i dag, og ved slutningen af nedskylstiden var det danske område landfast med England og Sverige, fastlandstiden.

Postglacialtid

Postglacialtidens start i Danmark er defineret som det tidspunkt (ca. 8000 f.Kr.), hvor der startede en kraftig afsmeltning af iskapen, hvis rand i en periode havde stået i Mellemsverige. Ved afsmeltningen fik den baltiske issø forbindelse med havet, hvorved det baltiske ishav



Baltiske Issø ca. 8.000 f.Kr.





Baltiske Ishav ca. 7.500 f.Kr.



Ancylus søen ca. 6.500 f.Kr.



Stenalderhavet ca. 5.000 - 2.000 f.Kr.

 Gletscher
 Vanddækket område

 Landområde
 Nuværende landgrænser

Figur 1.25 Niveauforandringer i postglaciertiden (efter E. Granlund)

dannedes. Den isostatisk landhævning bevirkede efterhånden, at dete hav igen blev isoleret til en sø, Ancylussøen (jf. figur 1.25).

Danmark var stadig højt hævet over havniveau. Klimaet var blevet varmere, og plante- og dyrelivet var rigt udviklet. Aflejringer af muld samt tørv og dynd fra fastlandstidens moser og søer er truffet flere steder i landet, såvel på nuværende landområder som på arealer, der i dag er vanddækkede. Fx umiddelbart vest for Samsø er moseaflejringer fra fastlandstiden truffet i kote ca. -38.

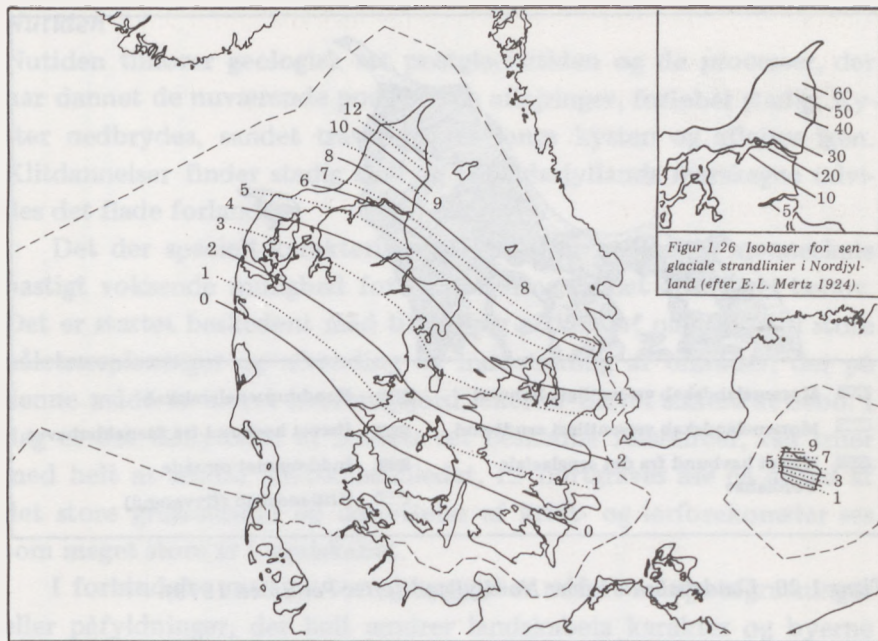
I stenalderen indtrådte igen en havspejlsstigning, litorina transgressionen, hvorved stenalderhavet opstod. Sydvest for en linie mellem Nissum Fjord og Nordfalster lå landet højere end i dag, men i den øvrige del af landet gik stenalderhavet ind over de nuværende kyster. Ved Frederikshavn træffes stenalderhavets strandlinier i dag ved kote ca. +15 m, ved Aalborg og Helsingør ved kote ca. +6 m.

Siden stenalderen har det danske landområde vippet omkring linien Nissum Fjord — Nordfalster. Den sydvestlige del af landet er sænket og den nordøstlige del hævet i forhold til havoverfladen.

Nordøst for linien Nissum Fjord — Nordfalster findes således aflejringer fra stenalderhavet inden for den nuværende kystlinie. Gennem hele postglaciale tiden har lige som i dag eksisteret et rigt organisk liv og i beskyttede områder, hvor vandet har været stillestående, er der rig mulighed for forekomst af dyndholdigt ler eller dynd i aflejringer af større mægtighed. I de østjyske inderfjorde træffes flere steder ret mægtige dyndlag.

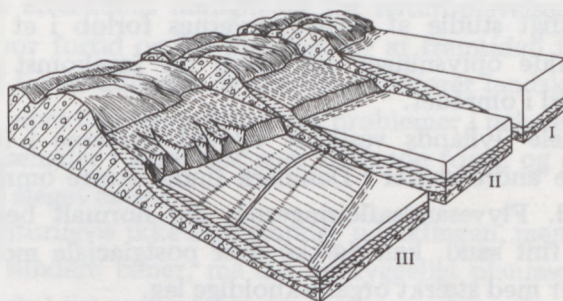
På landjorden har det rige organiske liv bevirket dannelse af tørve-, dynd- og gytjelag i søer og moser. I moseområder kan stærkt organiskholdige lag af tørv og dynd godt være adskilt af lag af sand og grus, som er skyllet ud i moseområdet fra det omgivende terræn. Et sand- eller gruslag under tørve- og/eller dyndaflejringer angiver således ikke altid mosens bund, men kan igen være underlejret af organiskholdige moseaflejringer.

Igennem hele postglaciale tiden er der til tider forekommet jordflydninger eller skred af jordmasser forårsaget af overfladevandets virke i skrænter og skråninger. Betegnelsen *skredjord* benyttes, når jordpartiklerne i størstedelen af de flyttede jordmasser ikke har



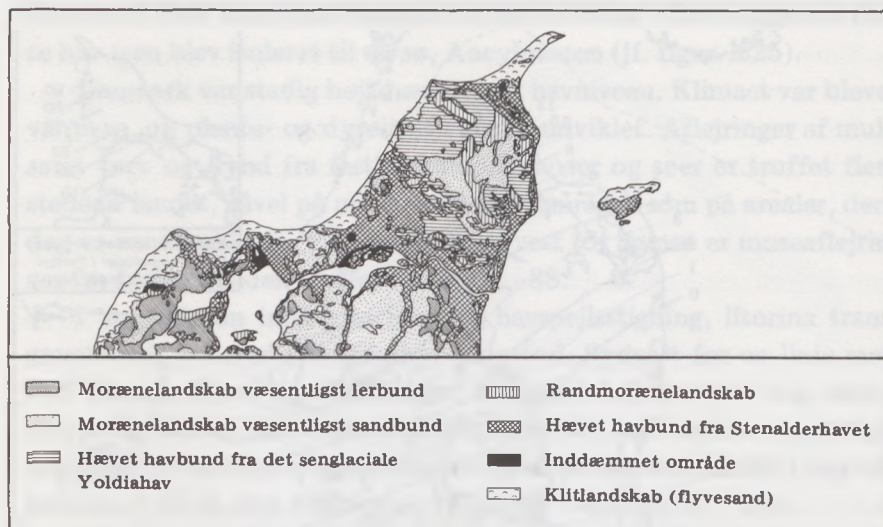
Figur 1.26 Isobaser for sen-glaciale strandlinier i Nordjylland (efter E. L. Mertz 1924).

Figur 1.27 Isobaser for stenalderhavets strandliniers nuværende højde over havet (efter E. L. Mertz 1959)



- | | |
|-------------------|--|
| I Yoldiahavet |  Istidsaflejringer |
| II Stenalderhavet |  Aflejringer fra Yoldiahavet |
| III Nutiden |  Aflejringer fra stenalderhavet |

Figur 1.28 Hævede kystlinier i Vendsyssel (efter Axel Schou 1960)



Figur 1.29 Landskabskort over Nordjylland (efter Per Smed 1979).

været i indbyrdes bevægelse, men opæltning af jordpartiklerne er koncentreret til en relativt begrænset zone. Betegnelsen *flydejord* anvendes, når hele den flyttede jordmasse har bevæget sig som en tyktflydende væske. Skred- og flydejord kan dække over forekomster af postglaciale organiskholdige lag.

Et grundigt studie af niveaukurvernes forløb i et område kan give værdifulde oplysninger om risiko for forekomst af skredjord eller flydejord i området.

Langs hele Jyllands vestkyst og ved kysterne i Nordsjælland samt enkelte andre steder i Danmark findes større områder dækket af flyvesand. Flyvesandsaflejringerne, der normalt består af rent, ret fint og fint sand, kan dække over postglaciale mose-, sø- eller havaflejringer med stærkt organiskholdige lag.

De postglaciale organiskholdige aflejringer er normalt stærkt sætningsgivende. Overalt i aflejringer af postglacial alder vil der være risiko for forekomst af lag med stort indhold af organisk materiale.

Nutiden

Nutiden tilhører geologisk set postglaciertiden og de processer, der har dannet de nuværende postglaciale aflejringer, forløber stadig. Kyster nedbrydes, sandet transporteres langs kysten og aflejres igen. Klitdannelser finder stadig sted og i Sønderjyllands marskegne udvides det flade forland.

Det der specielt karakteriserer nutiden er imidlertid menneskets hastigt voksende mulighed for at omforme landet efter eget behov. Det er startet beskedent med tilpasning af klitter, plantning af store nåletræsplantager og afvanding og inddæmning af områder, der på denne måde er blevet landbrugsjord, eller er blevet sikrere at bebo. I dag er det udnyttelse af landets ret beskedne ressourcer, der truer med helt at ændre landskabsbilledet, fx bortgraves åse på grund af det store grusindhold og udnyttelse af kridt- og lerforekomster ses som meget store ar i landskabet.

I forbindelse med motorvejsbyggeri er udført mange afgravninger eller påfyldninger, der helt ændrer landskabets karakter og byerne breder sig ofte uden hensyn til naturværdier.

Under menneskets aktivitet omlejres større og større dele af de øverste jordlag og opblandes eventuelt med andre ting. Bortset fra at den derved skabte fyld i teknisk og ressourcemæssig henseende er langt dårligere end de naturlige aflejringer, betyder en nedbrydelse af landskabet, at eftertidens muligheder for naturoplevelser, for efterforskning af vor fortid og for planlægning af fremtiden forringes uden mulighed for at udbedre de skader, vi påfører landskabet i dag. Den tekniske udvikling har indført nye problemer i naturen i form af store affaldsmængder i såvel fast som flydende form, og samtidig er vandforbruget steget meget.

Da man naturligvis ikke skal standse udviklingen, men søge at lede den ind i sundere baner, må det omhyggeligt planlægges, hvilke områder, der skal bevares intakte og hvilke områder, der må udnyttes, samt hvordan det skal ske. Fredningsager spiller en voksende rolle og en egentlig landskabspleje finder sted, omend i beskedent omfang.

Ar	Geologisk tidsperiode		Aflejringsart	Aflejringsmåde. Forekomst
~ 10 000	Kvartær	Postglacialtiden	Moseaflejringer Stenalderhavets aflejringer Moseaflejringer fra fastlandstiden	Vandaflejringer med bløde, organiskholdige partier Variation i organisk indhold tilfældig i såvel horisontal som vertikal retning
		Senglacialtiden	Nedskylsaflejringer Moseaflejringer fra sengalciale varmeperioder (Allerød, Bølling)	
~ 15 000			Smeltevandsaflejringer Marine aflejringer (Yoldia)	Vandaflejringer
~ 2 mill.		Glacialtiden	Moræneaflejringer Smeltevandsaflejringer Interglacialle aflejringer	Gletscheraflejringer (ler, sand, grus, sten) varierende usystematisk med smeltevandsaflejringer. Evt. indhold af løse flager af ældre aflejringer. Interglacialle havaflejringer. Interglacialle mose- og søaflejringer
70 mill.	Tertiær	Pliocæn Miocæn Oligocæn Eocæn Paleocæn Danien	Ingen aflejringer i Danmark Glimmerler og glimmersand, brunkul Septarieler, glimmerler Plastisk ler, moler, vulkansk aske Kertemindeaflejringer, grønsandsaflejringer Kalksandskalk, bryozokalk	Vandaflejringer, senere vippet (evt. forskudt). } Væsentligst uhærdnet jord, leraflejringer ofte sprækkede. } Delvis hærdnede aflejringer Hærdnede aflejringer, ofte gennemsat af sprækkesystem
		Kridt	Skrivekridt, mergel	Havaflejringer, senere vippet og/eller forskudt. Delvis hærdnet, ofte gennemsat af sprækkesystemer
		Jura	Ler, sand, kul	Havaflejringer, senere vippet og/eller forskudt
135 mill.				