

KALK OG KRIDT I DEN DANSKE UNDERGRUND

Erik Thomsen
Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 8000 Aarhus C

INDHOLD	SIDE
1. INDLEDNING	32
2. KALKBJERGARTER	32
Klassifikation af kalkbjergarter	32
Dunham's klassifikation	34
Folk's klassifikation	34
3. DANSKE KALKBJERGARTER	35
Kridt	35
Slamkalk	37
Kalksandskalk	37
Bryozokalk	37
Koralkalk	38
Diagenese	38
Primære strukturer, bioturbation, kompaktering og hærdning	38
Flint	38
4. OVERSIGT OVER KALKLAGENES UDBREDELSE I DANMARK	39
Dybden til kalken	39
Kalkaflejringeres tykkelse	39
5. AFLEJRINGER FRA KRIDT	40
Nedre Kridt	41
Tuxen Formationen	41
Sola Formationen	41
Rødby Formationen	42
Øvre Kridt	42
Skrivekridt	42
Klima og havniveau	44
Biogen pelagisk sedimentation	44
6. AFLEJRINGER FRA DANIE	45
Stratigrafi	45
Biostratigrafiske zoner i Danien	46
Stratigrafiske tværsnit gennem Danienlagserien	48
Vestjylland	48
Østjylland	50
Østdanmark	52
Den geologiske udvikling i Danien	55
Tidlig Danien (kalk-nannofossilzonerne 1, 2 og 3)	56
Mellem Danien (kalk-nannofossilzonerne 4 og 5)	58
Sen Danien (kalk-nannofossilzonerne 6-9)	59

Indholdsfortegnelsen fortsætter på næste side...

7. HAVNIVEAUÆNDRINGER OG SEKVENSTRATIGRAFI I SEN MAASTRICHTIEN OG DANIEN	60
8. KALKHOLDIGE AFLEJRINGER FRA SELANDIEN	62
9. LITTERATUR	65

1. INDLEDNING

Skrivekridt og Danienkalk er de mest udbredte sedimentære bjergarter i den danske undergrund. Skrivekridt findes overalt i Danmark med undtagelse af Skagens Odde, et område omkring Anholt og Bornholm. Danienkalken har en lidt mindre udbredelse, idet den mangler i Vendsyssel, Nordøstthimmerland samt i den sydligste del af Sjælland, Falster og det meste af Lolland.

I den sydvestlige del af Danmark er kalken dækket af yngre Tertiære afsætninger, og den træffes her først i flere hundrede meters dybde. Nord for en linie fra Thy i nordvest til Stevns i sydøst samt på Sydsjælland, Lolland og Falster findes kalken umiddelbart under de Kvartære afsætninger (Fig. 1). Flere steder er den kun dækket af et tyndt lag muld. De forskellige kalkstensformationers afgrænsning mod nordøst er overalt bestemt af Kvartær erosion.

De danske kalkaflejringer har gennem årene været genstand for en betydelig forskningsaktivitet. De fleste undersøgelser har fokuseret på afgrænsede palæontologiske eller sedimentologiske emner. Der har tidligere kun været få forsøg på at give en mere sammenhængende beskrivelse af de enkelte kalktypers udbredelse i tid og rum eller af kalkbassinernes udvikling. Dette har især betydning for vor forståelse af Danienkalken, da denne udviser betydelige faciesforskelle i modsætning til Kridttidens forholdsvis homogene aflejringer.

Det har været svært at skabe sig et overblik ud fra daglokaliteter alene, da de fleste af disse ligger i en snæver zone på langs af bassinet. I den øvrige del af landet kendes kalken næsten udelukkende fra boringer. Langt de fleste boreprøver er skylleprøver, og det er først med udviklingen af kalk-nannofossil biostratigrafien, at det er blevet muligt at etablere en biostratigrafisk zonerings af dette materiale.

Et af hovedformålene med biostratigrafien er ved korrelation at undersøge, hvilke lag der er samtidige i geografisk adskilte områder, samt at indplacere lagsrækker i den geologiske tidsskala. Biostratigrafien giver således den tidsmæssige ramme, hvori geologiske be-

givenheder kan indplaceres.

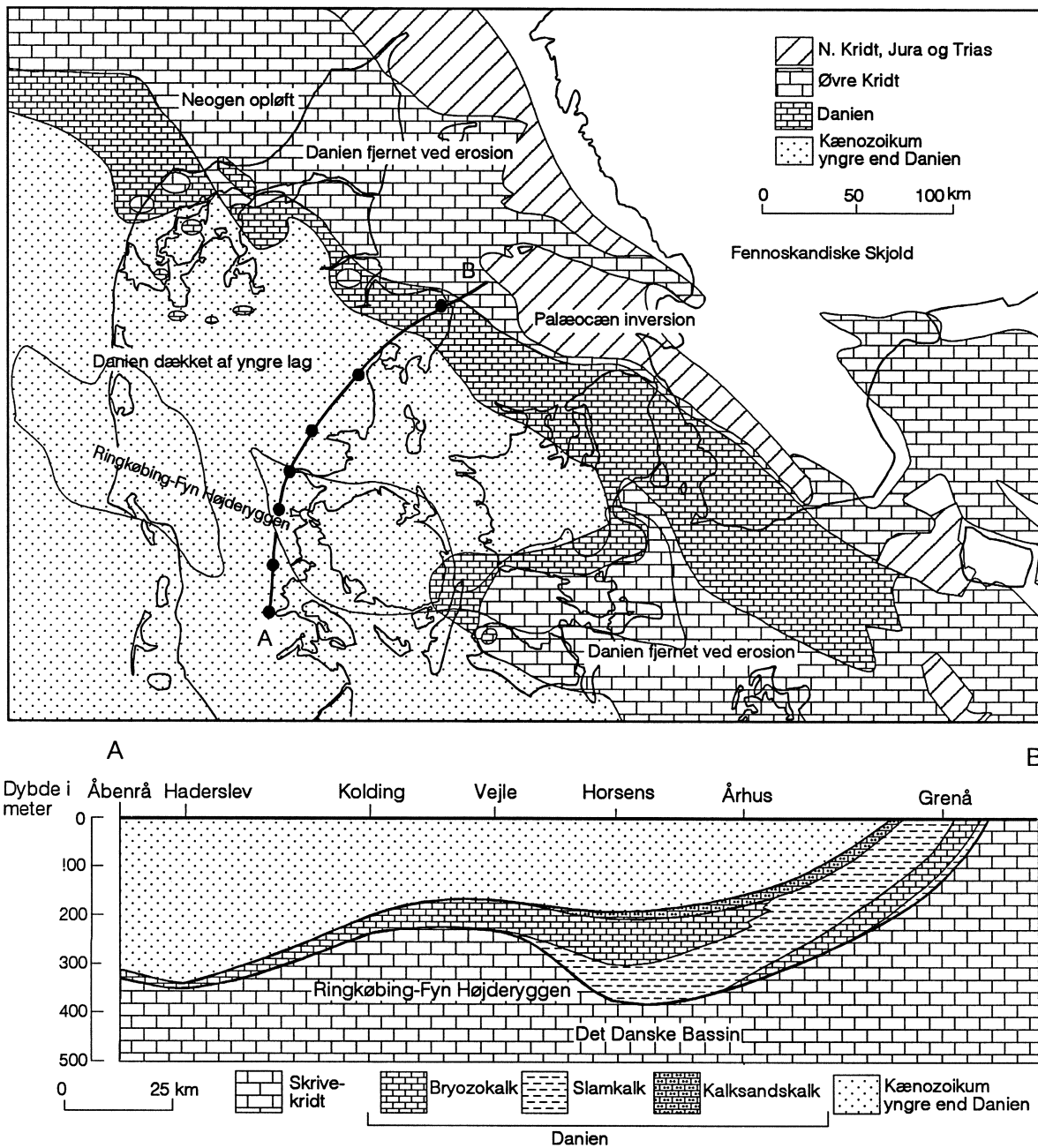
Det primære mål med denne gennemgang er at give et overblik over de forskellige kalkstenstypers udbredelse, samt at give en geologisk tolkning af kalkbassinernes udvikling. Hovedvægten vil ligge på Danien. Præsentationen og tolkningen vil ske ved hjælp af tværsnit og palæogeografiske kort. Oplysningerne bygger overvejende på studier af boremateriale stillet til rådighed af Danmarks Geologiske Undersøgelser. Ud over Danienkalk og skrivekridt indgår kalk som en vigtig komponent i adskillige andre mesozoiske og kænozoiske formationer (Fig. 2). De vigtigste af disse er Tuxen, Sola og Rødby Formationerne fra Tidlig Kridt samt Kerteminde Mergel Formationen og Søvind Mergel Formationen fra Palæogen. Med undtagelse af Søvind Mergel Formationen behandles også disse enheder her. Derimod vil de palæozoiske kalksten på Bornholm, samt de permiske kalksten omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen, ikke blive berørt.

2. KALKBJERGARTER

De mesozoiske og kænozoiske kalkaflejringer i Danmark er som næsten al kalk på Jorden af biologisk oprindelse, og er aflejret i havet. De oprindelige bestanddele er rester af kalkskallede organismer. Disse kan have været planktoniske (fritsvævende i vandmasserne) som f. eks. kalk-nannofossiler (kokkolitter m.fl.) og visse foraminiferer eller benthoniske (bundlevende) som f. eks. bryozoaer, brachiopoder og echi- nodermmer. Kalksedimenter er i modsætning til terrigene normalt dannet i det bassin, hvori de er aflejret. De er således intrabassinale. Kalken i den øverste del af Kerteminde Merglen er en markant undtagelse herpå.

Klassifikation af kalkbjergarter

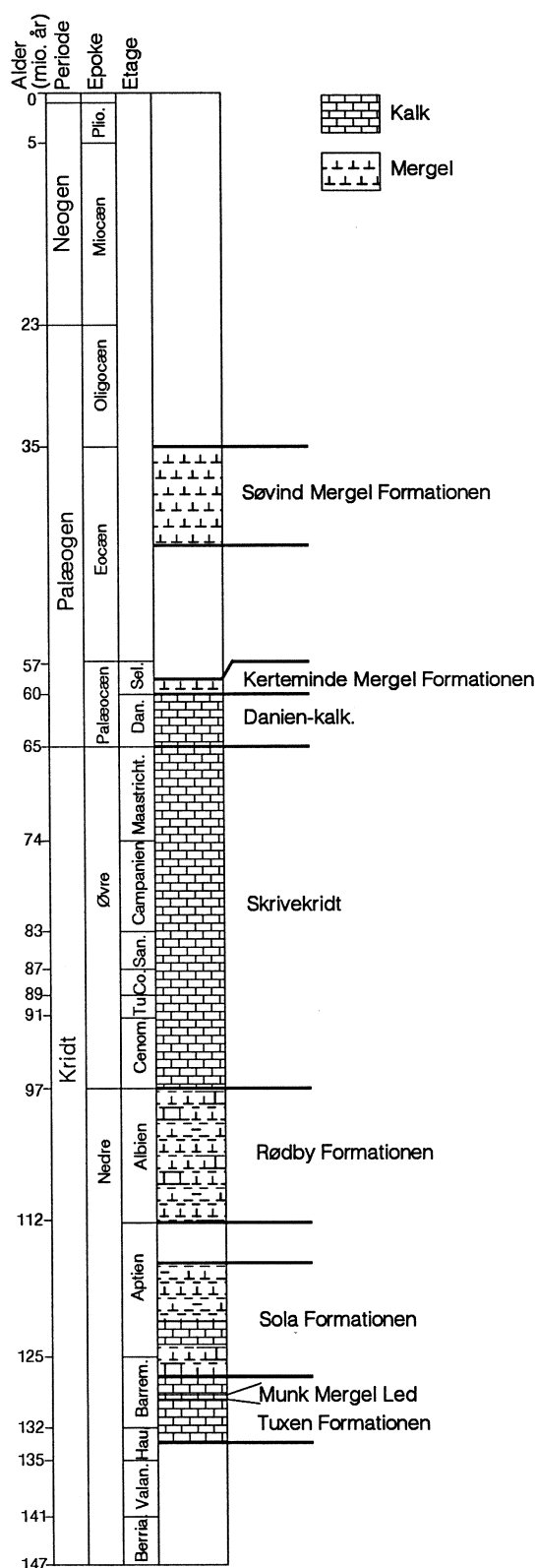
I ældre beskrivelser af kalksten har man ofte benyttet de samme karakterer, som kendes fra beskrivelser af klastiske sedimenter, såsom kornstørrelsesfordeling, sorteringsgrad, afrunding o.s.v. I Grabau's klassiske klassifikationssystem fra 1913 er disse parametre an-



Figur 1. Geologisk kort over den prækvartære overflade i Danmark med udbredelse af lag fra Kridt og Danien i forhold til ældre og yngre aflejringer (baseret på Håkansson & Petersen 1992).

vendt sammen med den kemiske sammensætning. Grabau opererer således med tre hovedtyper af kalksten. En grovkornet kalksten med kornstørrelse i grusfraktionen kaldes en calcirudit (kalkgruskalk). Hvis størstedelen af kornene ligger i sandfraktionen, betegnes den en calcarenit (kalksandskalk), mens en

finkornet kalksten bestående af partikler i silt- og lerfraktionerne kaldes en calcilutit (slamkalk). Grabau's klassifikationssystem er stadig meget benyttet. Calcilutitter og calcarenitter er vidt udbredte i de danske Kridt- og Danienaflejringer, mens calcirudit kun forekommer i forbindelse med koralrev (Fa-



Figur 2. Den tidsmæssige placering af de vigtigste mesozoiske og kænozoiske kalk- og mergelformationer i Danmarks undergrund.

xe) og visse kystnære afsætninger i det østlige Skåne (Ignaberga og Ivö).

I de nyere klassifikationssystemer lægger man stor vægt på forholdet mellem de større partikler og grundmassen (kalkslammet). Grænsen mellem de to korntypers størrelse sættes normalt ved 4 μm .

Dunham's klassifikation

I Dunham's (1962) system klassificeres kalksten i fem typer på grundlag af 1) graden af kontakt mellem de større korn og 2) det relative mængdeforhold mellem større korn og kalkslam (mikrit) (Fig. 3). Mudstones og wackestones er bjergarter med en stor andel af kalkslam, således at de større korn "flyder" i slammet (matrixunderstøttet, mud support). Packstones og grainstones er bjergarter, hvori de store partikler danner et selv bærende netværk (kornunderstøttet, grain support). I en packstone er netværket fyldt ud med kalkslam, medens en grainstone mangler slam. Endelig er det muligt, at de store partikler under aflejringen hang sammen. Sådanne bjergarter kaldes boundstones.

Samtlige disse bjergartstyper findes blandt de danske kalkaflejringer. Skrivekridtet er en mudstone, mens bryozokalken fra Danien enten er en wackestone eller en packstone. Koralkalken ved Faxe er en boundstone. Udvaskede kalksten uden slam (grainstones) er sjældne, men eksempler findes dog i toppen af bryozokalken ved Skillingbro, i koralkalken og bryozokalken ved Faxe samt i de yngste Danienaflejringer.

Folk's klassifikation

Folk (1962) inddeler i sin klassifikation kalkens bestanddele i tre hovedkomponenter: Partikler (sandfraktion eller større), mikrit og cement (Fig. 4). Han opererer med fire typer partikler, nemlig intraklaster, ooider, fossiler og pellets.

Mellemrummet mellem partiklerne kan enten være udfyldt med en finkornet mikrit (kalkslam $< 4 \mu\text{m}$) eller med cement (udfældede kalkkrystaller, sparry calcite). Ud fra kombinationsmulighederne mellem partikler på den ene side og cement og mikrit på den anden skelner Folk mellem otte forskellige kalkstenstyper. En kalksten bestående af fossiler indlejret i mikrit benævnes således en biomikrit. Hvis indlejningsmediet derimod er cement, hedder bjergarten en biosparit. Ud over disse otte typer kommer så revkalk

Aflejringstekstur				
Oprindelige komponenter ikke hæftet sammen under aflejringen			Oprindelige komponenter sammenhæftede under aflejringen	
Inderholder slam (partikler af ler og fin-silt størrelse)		Kornunderstøttet (Grain supported)	Mangler slam og er Kornunderstøttet	
Matrixunderstøttet (Mud supported)				
Mindre end 10% korn	Mere end 10% korn	Packstone	Grainstone	
Mudstone	Wackestone			
				Boundstone

Figur 3. Klassifikation af kalksten efter Dunham (1962).

(biolithit) og den rene mikrit uden større partikler. Folk foreslår visse kriterier, hvorefter en kalksten kan yderligere underinddeles. En biomikrit kan f. eks. inddeles på grundlag af indholdet af biogene komponenter. Eksempelvis vil bryozokalken fra Tidlig Danien klassificeres som en bryozobiomikrit i Folk's system.

3. DANSKE KALKBJERGARTER

De fleste klassifikationssystemer er rent beskrivende. De tjener det primære formål, at give overblik over en stor mængde bjergartstyper. Bjergarter, der har visse fysiske egenskaber fælles, klassificeres sammen. Desuden kan det være ønskeligt, om klassifikationssystemet kan anvendes ved tolkningen af aflejringstilstanden. Dette vil være tilfældet, hvis bjergarter grupperes sammen, når de er aflejret under samme betingelser. Dette ideal synes de nyere klassifikationssystemer generelt at komme nærmere end de ældre. Klassiske parametre som kornstørrelsesfordeling, sorteringsgrad og afrunding vil i de fleste klastiske bjergarter have en høj tolkningsmæssig værdi, idet de er afspejler af de hydrodynamiske aflejningsforhold. I en biogen kalksten, derimod, afhænger parametrene sandsynligvis kun af størrelsen og formen på de dyr og planter, der danner bjergarten.

De moderne klassifikationssystemer kan naturligvis også anvendes på de danske kalkbjergarter. Det må dog erkendes, at systemerne på mange måder ikke er særlig velegnede her, idet bjergarter, som i håndstykker synes meget forskellige, efter en petrografisk analyse vil klassificeres sammen. Bryozokalken fra Tidlig Danien og den finkornede slamkalk fra Mellem Danien er f. eks. begge biomikritter. Kun indholdet af

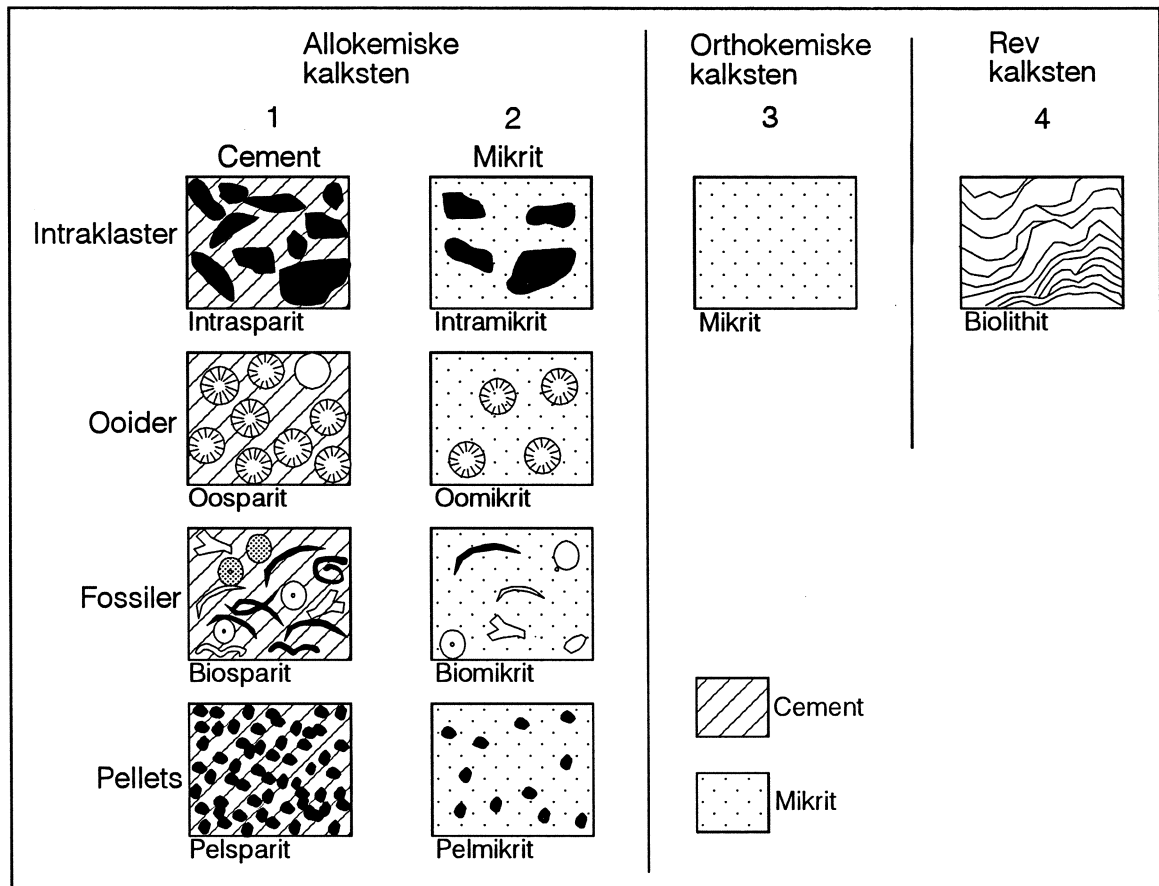
fossiler adskiller dem, hvor bryozokalken er en bryozobiomikrit, og slamkalken er en echinoderm- eller foraminiferbiomikrit. I begge formationer veksler kalken mellem matrix- og kornunderstøttelse.

Forskellene mellem de danske kalksten er så små set i forhold til hele det mulige spektrum af kalkstenstyper, at klassifikationssystemerne kun vanskeligt er i stand til at adskille dem.

Det er valgt her at anvende nogle af de uformelle navne, der i tidens løb er brugt i litteraturen om danske kalkbjergarter. De moderne klassifikationssystemer benyttes til at karakterisere bjergarterne og til tolkning af aflejringstilstanden. Flere af de gamle danske navne er imidlertid ikke blot brugt om bestemte bjergartstyper, men nærmest som formationsnavne. I denne gennemgang er det tilstræbt at bruge dem udelukkende beskrivende. Der bliver skelnet mellem 5 hovedtyper, nemlig skrivekridt, slamkalk, kalksandskalk, bryozokalk og koralkalk. De kan normalt let skelnes fra hinanden i håndstykker, men der findes dog mellemformer, som kan være svære at placere.

Skrivekridt

Meget finkornet, hvid kalkbjergart, der overvejende består af hele eller fragmenterede kokkolitter og andre pelagiske kalk-nannofossiler (thoracosfærer, calcisfærer, nannoconider m.fl.). Mere end 80% af kalken udgøres af korn, der er mindre end 5 µm. Kalkskaller af større fossiler (d.v.s. korn >63 µm) udgør normalt under 10% (Håkansson *et al.* 1974). Calcitiske skeletdele er yderst velbevarede, hvorimod aragonit er forsvundet. Makrofossilerne domineres normalt af bryozoer, men brachiopoder, ostracoder, oktokoraler samt benthoniske og pelagiske foraminiferer er også hyppige. Aftryk af aragonitskallede organismer, især bevaret i hærtnede lag viser, at også snegle,



Figur 4. Klassifikation af kalksten efter Folk (1962).

muslinger og ammonitter var almindelige. Hvor opbevaringsforholdene har tilladt det, er kiselsvampe hyppige.

Ikke-karbonatindholdet varierer normalt mellem 0,5 og 10% (Håkansson *et al.* 1974). Lerminerale dominerer helt, men finkornet kvarts og pyrit kan dog spores i de fleste prøver. Lerminerale består typisk af en blanding af smectit og illit. Flint forekommer i varierende mængder, men er dog aldrig nær så hyppig som i Danienkalken. Nogle steder mangler flint næsten helt.

Det blottede danske skrivekridtbjergarter er blødt og som regel kun svagt påvirket af senere diagenetiske ændringer. De består som tidligere nævnt hovedsagelig af kokkolitter og andre kalk-nannofossiler. De første betydelige kridtaflejringer i Nordsøbassinet er fra midten af Tidlig Kridt. Deres største udbredelse er i Sen Kridt. I Danien træffes rene kridtaflejringer kun i Storebæltområdet.

I Folk's (1962) og Dunham's (1962) klassifikationssy-

stemer vil størstedelen af kridtet klassificeres som henholdsvis mikritter og mudstones.

Kridtaflejringerne fra Øvre Kridt betegnes ofte "skrivekridt".

Kokkolitter, kalk-nannofossiler. Kokkolitter er hovedkomponenten i kridt, som derfor også kan betegnes som kokkolitkalk. Da kokkolitter også er en meget vigtig bestanddel i alle andre kalkholdige bjergarter i Danmark fra Tidlig Kridt til i dag, vil de i det følgende blive lidt grundigere behandlet end de øvrige kalkbidragydere.

Kokkolitter dannes af små, encellede, kalkudskillende planktoniske alger, coccolithophorider (gulbrunalger, division Haptophyta). Coccolithophorider er blandt de almindeligste organismer i det oceaniske planteplankton, og de udgør sammen med diatomeer den vigtigste primære fødekilde for havens zooplankton (Tappan 1980). Coccolithophorider har siden Kridt været den betydeligste kalkdannende organismegrup-

pe, og de bidrager i dag med mere end 25% af Jordens samlede kalkproduktion.

En coccolithophorid-celle er normalt mindre end 30 μm i diameter. Inde i cellen dannes små, oftest cirkulære eller ovale kalkskjolde, coccolitter. Disse bevæger sig udad til cellens ydervæg, hvor de opbygger en sammenhængende skal (coccosfære) omkring cellen.

Forplantningen er oftest asekuel med en simpel celledeling. Væksten er afhængig af sollys, og coccolithophorider er derfor hyppigst i havets øverste 50 m. De findes i næsten alle marine miljøer.

Efter cellens død falder coccosfærene normalt fra hinanden, og coccolitterne synker til bunds og indgår i oceanbundens sedimentdække.

De ældste sikre coccolithophorider er fra slutningen af Trias (220 mio. år), men de bliver først hyppige ca. 100 mio. år senere i begyndelsen af Kridt (Tappan 1980). I dag foregår den største produktion omkring ækvator og henholdsvis nord og syd for 45° nordlig og sydlig breddegrad. Coccolithophorider trives ikke i de koldeste farvande omkring polerne.

Coccolithophoriderne udgør en veldefineret systematisk gruppe. Sammen med coccolithophorider findes mange andre ganske små (<20 μm) kalkdannende, encellede organismer. Nogle af disse er tydeligvis ikke coccolithophorider. De såkaldte thoracosfærer er således dinoflagellater. Andre som f. eks. calcisfærer og nannoconider har uafklarede slægtskabsforhold. Til sammen betegnes alle disse grupper for kalk-nannofossiler (eller kalk-nannoplankton) (Perch-Nielsen 1986).

Slamkalk

Hvid eller lys grå, finkornet kalkbjergart. Halvtreds til tres procent af kornene er mindre end 5 μm (mikrit) (Jensen 1986). Resten ligger hovedsagelig i silt- og finsandfraktionerne. De vigtigste komponenter er kokkolitter og andre kalk-nannofossiler, først og fremmest thoracosfærer. Desuden indeholder kalken en del pelagiske foraminiferer og fragmenter af echinodermer. En stor del af partiklerne kan dog ikke henføres til nogen bestemt organismegruppe. Indholdet af større fossiler er meget lavt. Faunaen domineres af irregulære søpindsvin, østers, søliljestilke og kiselsvampe.

Slamkalk indeholder en større andel af korn i siltfraktionen end kridt, som den ellers minder om og undertiden være svær at skelne fra. Slamkalken er som regel blød, og den er kun i ringe grad påvirket af diagenetiske processer. Flintindholdet er ofte meget stort og kan i volumen overstige 30%.

Slamkalk er især udbredt i Mellem Danien i Jylland. Den udgør en del af de aflejringer, der tidligere blev betegnet som blegekalk og kokkolitkalk.

Slamkalken vil i Folk's (1962) system klassificeres som en foraminifer- eller echinodermbiomikrit. I Dunham's (1962) system er der tale om wackestone eller packstone.

Cerithiumkalken udgør en speciel type slamkalk, idet den i hovedsagen består af ensartede, afrundede kalkkrystaller i siltfraktionen. Genkendelige krystaller af biogen oprindelse udgør kun en ringe procentdel.

Kalksandskalk

Kalksandskalken er lys grå til svagt gullig. Omkring 70% af kornene falder i sandfraktionen, heraf dog halvdelen i finsandfraktionen (Larsen 1961). Hovedbestanddelene er kokkolitter, foraminiferer og skeletfragmenter af forskellige echinodermgrupper. Større fossiler er sjældne. Kun irregulære søpindsvin forekommer almindeligt. Kornstørrelsesfordelingen er især bestemt af sammensætningen af disse biogene komponenter, men også diagenetisk udfældede calcitkrystaller i kalkens porerum spiller en rolle. Kalksandskalk er grovere end slamkalk, men der findes overgangstyper. Kalksandskalk er rig på flint. Hærdningsgraden er svag til moderat, men hårde bænke forekommer dog.

Kalksandskalk er især udbredt i Sen Danien. Københavnkalk Formationen i Øresundsområdet består således af kalksandskalk (Stenestad 1976). I Jylland udgør kalksandskalken den øverste del af blegekalken.

Kalksandskalken er en foraminifer- eller echinodermbiomikrit i Folk's (1962) klassifikationssystem. Kalken veksler mellem matrix- og kornunderstøttelse, og i Dunham's (1962) system vil den klassificeres enten som en packstone eller en wackestone. I Københavnsområdet er den typiske kalksandskalk overlejret af en knap 1 m tyk, hård bæk af sandede kalkaflejringer uden matrix. I stedet for matrix er porerumme diagenetisk udfyldt med calcitkrystaller (spar). Denne kalkstenstype må efter Dunham's system betegnes som en grainstone og efter Folk's (1962) som en biosparit.

Bryozokalk

Denne kalktype består af skeletfragmenter af bryozoaer i en finkornet slam. Slammet er sammensat af kokkolitter, thoracosfærer samt ganske små fragmenter af bryozoaer og foraminiferer. Bryozoinholdet ligger typisk mellem 20 og 45%, men der findes gradvise overgange til kridt, slamkalk og kalksandskalk. Bryozoaer

zokalken veksler mellem matrixunderstøttelse, hvor grenene "flyder" i slammet (wackestone) og kornunderstøttelse, hvor bryozogrenene danner et selv bærende netværk (Thomsen 1976). I kalk med kornunderstøttelse er porerummene sædvanligvis fuldstændig udfyldt med slam (packstone), men bænke, hvor slammet er mere eller mindre udvasket (grainstone), kendes også, især fra de øverste dele af Nedre Daniens bryozokalk (Jensen 1986). Ifølge Folk's (1962) klassifikationssystem er bryozokalken en biomikrit. De udvaskede bænke er dog biosparitter.

Bryozokalken danner ofte store revlignende banker. Disse er sandsynligvis dannet som følge af forskelle i vækstbetingelserne for bryozoer, forårsaget af havstrømme (Thomsen 1976). Almindelige større fossiler er pigge af regulære søpindsvin (*Tylocidaris*), irregulære søpindsvin, brachiopoder, oktokoraller samt stilkled af crinoider.

Både indholdet af flint og hærtningsgraden veksler stærkt.

Bryozokalk er almindelig fra de øverste dele af Kridtet til toppen af Danienet. Kalkens udbredelse varierer dog betydeligt.

Koralkalk

Kalken består typisk af et grovmasket netværk af større eller mindre fragmenter af buskformede koraller, som helt eller delvis er indlejret i en finkornet matrix af kalkslam (Floris 1980, 1992; Bernecker *et al.* 1990; Willumsen 1993, 1995). Koralkalk findes kun i større mængder ved Faxe. Sammen med de revdannende scleractine koraller optræder en rig fauna af oktokoraller, snegle, muslinger, nautiler, brachiopoder, echinodermer, krebsdyr og hajer. Korallerne var antagelig ahermatype, d.v.s. uden symbiose med alger.

Koralkalken er stærkt påvirket af senere diagenetiske ændringer. Korallernes aragonitiske skelet er enten opløst eller omdannet til calcit, mens matrixen er stærkt hærtnet. Koralkalken findes i mange varieteter. En udbredt type består af hærtnet kalk med hulrum efter opløste koraller og andre aragonitiske fossiler.

Koralrevet ved Faxe med et fladeareal på mere end 2 km² (Floris 1992), er i virkeligheden et revkompleks opbygget af adskillige mindre rev (Bernecker *et al.* 1990). Komplekset er omgivet af bryozokalk, som det veksler med langs med siderne.

Diagenese

Primære strukturer, bioturbation, kompaktering og hærtning.

De danske kalk- og kridtaflejringer er stærkt bioturbere (gennemgravede), og primære sedimentære strukturer er normalt udslettet (se dog afsnittet om biogen pelagisk kalksedimentation).

Deformation af gravegange og stenkerner af fossiler viser, at skrivekridtet på dansk landområde normalt er kompakteret med omkring 10%. Kalken har bevaret en porøsitet på 45-65% (Håkansson *et al.* 1974). De mange små benthiske fossiler vidner om en fast overflade på havbunden.

Sporfossiler er hyppige i mange lag. Visse forekomster af gravegange er dog særligt bemærkelsesværdige: *Thalassinoides* gravegangene øverst i Cerithiumkalken i Stevns Klint, ved Dania og Vokslev; *Zoophycos* og *Chondrites* gangene i Kjølbygaard Merglen i skrivekridtet ved Dania og Nye Kløv, samt *Paramoudra* stenringene i bryozokalken ved Kællingedal (Hansthalm).

De danske kalkaflejringer er hærtnet i forskellig grad. Hærtning skyldes diagenetisk udfældning af calcitkrystaller i porer og hulrum. Aragonit er altid opløst i de danske kalkaflejringer, og den udfældede kalk stammer hovedsagelig herfra samt fra trykopløsning. Kalk med et oprindeligt stort indhold af aragonit er derfor stærkest hærtnet. Dette gælder især bryozokalken fra Tidlig og Mellem Danien samt koralkalken fra Faxe.

Generelt er kridtaflejringer bløde og uhærtnede. De er finkornede og homogene med et oprindeligt lille indhold af aragonitskallede dyr. Kalk-nannofossiler består af calcit og er meget stabile.

Kalk med et selv bærende netværk af store partikler er som regel stærkere hærtnet end kalk, hvori de store partikler flyder. Årsagen er trykopløsning i kontaktpunkterne mellem de store partikler i forbindelse med kompaktering. Den opløste kalk udfældes som cement og forårsager hærtning.

Biosparitter består af biogene partikler, der danner et selv bærende netværk omkring hulrum, der ved aflejringen var åbne. Den oprindelige, høje porøsitet og permeabilitet udgør sammen med trykopløsning grunden til denne kalktypes kraftige hærtning (Nielsen 1976).

Flint

Kalken er gennemgående meget ren. Den uopløselige rest udgør normalt mindre end 5% og sjældent mere

end 10%. Den består først og fremmest af lermineraller. Hertil kommer dog stedvis store mængder flint.

Flint er hyppigst i Danienaflejringerne, hvor den kan udgøre næsten en trediedel af lagenes samlede mægtighed. Især slamkalken og kalksandskalken fra Mellem og Sen Danien indeholder meget flint. I skrivelkridtet er flint hyppigst på de østdanske lokaliteter (Møn, Stevns Klint). På flere vestjyske lokaliteter (fx Batum i Salling) mangler flint næsten fuldstændig.

Flint er diagenetisk udfældet kisel, SiO_2 , som forekommer som noder (knolde) eller sammenhængende lag. Flinten følger som regel kalkens lagdeling, men man ser dog også hyppigt flintnoder, der synes tilfældigt spredt eller lag, der forløber på tværs af lagdelingen, - her kan flinten være udfældet i ellers langs senere dannede forkastningszoner eller i tilknytning til gravegange som *Thalassinoides* og *Paramoudra*.

Kiselen i flintkonkretionerne stammer fra kiselskeletter af dyr og planter. De vigtigste bidragsydere var utvivlsomt kiselsvampe. I visse lag (fx Arnagerkalken) er tomme hulrum efter svampespikler meget almindelige (Noe-Nygaard & Surlyk 1985). Flintdannelse foregår tilsyneladende i to trin. Biogene kiselskeletter består af opal, der er let opløselig i havvand, og de fleste kiselskeletter forsvinder derfor, før de kan nå at blive begravet. Resten opløses normalt ganske tæt under havbunden. Den derved frigivne kiselsyre genudfældes i første omgang som ganske små kugler "lepisfærer" ($d < 10 \mu\text{m}$) af opal-CT (cristobalit/tridymit). Gravegange og hulrum i fossiler er ofte stærkt forkisledede, og udfældningen af opal-CT synes til en vis grad at være bestemt af det sure miljø, som henfaldende organiske materialer kan give.

På et senere tidspunkt kan disse "lepisfærer" omdannes til flint. Denne anden del af processen kan ske over et meget langt tidsrum, og visse steder er den endnu i dag ikke bragt til ende. Dette er fx tilfældet for Arnagerkalken samt for nogle aflejringer fra Mellem Danien omkring Mariager Fjord. I den bløde, flintfattige og stærkt porøse danienkalk udgør jævnt fordelte cristobalit/tridymit lepisfærer omkring 40% af sedimentet.

Flintens kornstørrelse, farve og tekstur er i vid udstrækning bestemt af texturen og kornstørrelsen af den kalk, som flinten er dannet i. Flinten i kridt og slamkalk er finkornet og mørk. Kalksandskalkens flint er grovkrystallinsk og domineret af grålige farver. Flint dannet i bryozokalk indeholder som regel talrige rester af mere eller mindre replacerede bryozoaer.

4. OVERSIGT OVER KALKLAGENES UDBREDELSE I DANMARK

Dybden til kalken

I den nordøstlige del af landet ligger kalken lige under de kvartære lag. Tykkelsen af de kvartære aflejringer er dog mange steder betydelig, og toppen af kalken ligger ofte under havniveau. I den nordlige del af Vendsyssel træffes kalken først i koter mellem -100 m og -300 m. Mod syd og vest i Danmark falder kalkens overflade brat (Fig. 1), og i de centrale dele af Vestjylland ligger toppen typisk 600-700 m under havniveau. Lokalt omkring Nissum Bredning er kalken dækket af mere end 1000 m kænozoiske sedimenter. Over Ringkøbing-Fyn Højderyggen stiger kalkoverfladen til mellem 200 og 300 m's dybde for i Sønderjylland at synke til koter mellem -400 og -500 m. Samtlige daglokaliteter i Midt- og Vestjylland (Hjerm, Vejrum, Sevel, Daugbjerg, Mønsted og Nøvling) ligger på saltstrukturer.

Skov- og Naturstyrelsen har udgivet et detaljeret kort over kalkoverfladens beliggenhed i hele Danmark (Ter-Bork 1987).

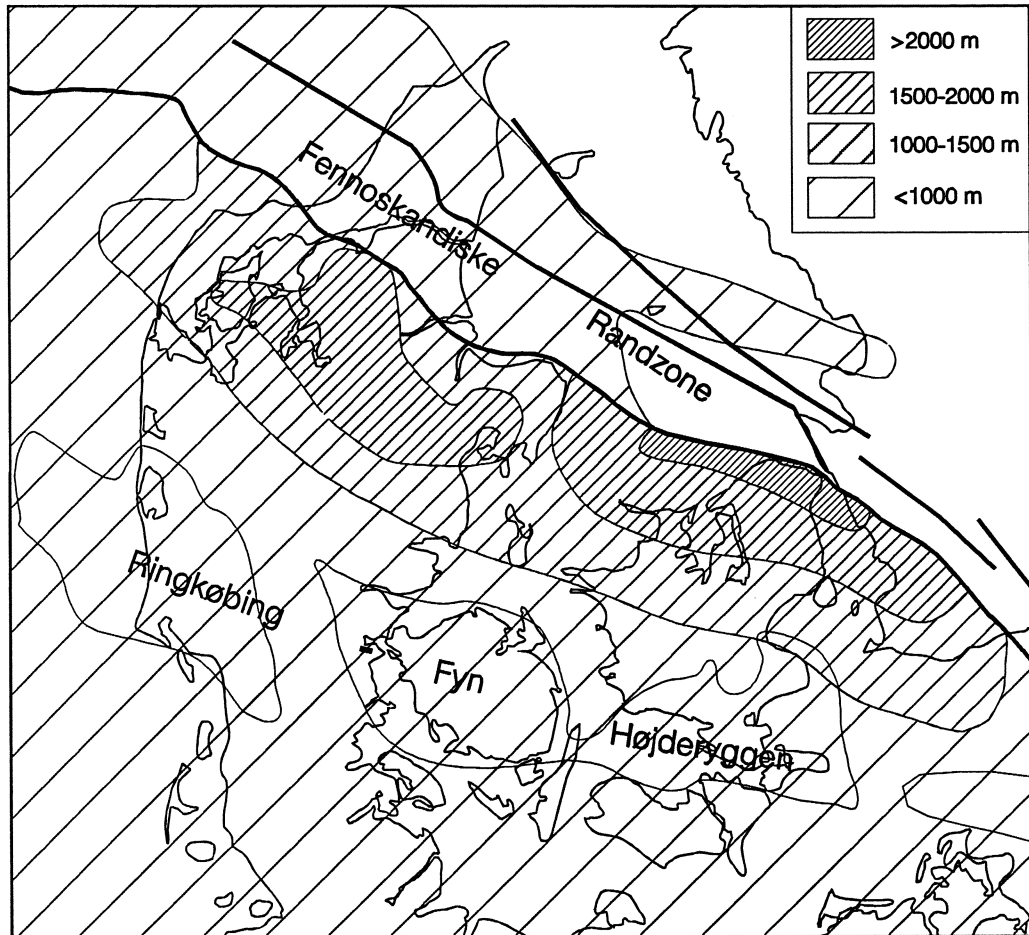
Kalkaflejringeres tykkelse

Øvre Kridt- og Danienlagenes samlede tykkelse varierer fra cirka 500 m i Sønderjylland til mere end 2000 m i et område langs med den Fennoskandiske Randzone (Fig. 5) (Liboriussen *et al.* 1987). I den nordligste del af Vendsyssel, hvor toppen af kalken er fjernet af Neogen og Kvartær erosion, er kalken dog visse steder mindre end 200 m tyk.

Den Fennoskandiske Randzone var i det meste af Palæozoikum og Mesozoikum et område med kraftig indsynkning og akkumulation af store sedimentpakker. Triassedimenterne alene når i Ålborggraven tykkelser på omkring 6000 m. Fra begyndelsen af Sen Kridt og indtil midt i Paleocæn inverteredes randzonen trinvis, og det tidligere indsynkningsområde hævedes. I stedet forøgedes indsynkningen i områderne syd for randzonen. Det er i disse bassiner, at de største mægtigheder af Øvre Kridt- og Danienkalk findes (Liboriussen *et al.* 1987).

Depocentrenes placering i denne periode lå dog ikke fast. I løbet af Sen Kridt og Danien blev de langsomt forskudt mod syd væk fra randzonen således, at depocentret i slutningen af Danien lå lige nord for Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

De største Danienmægtigheder ligger i området fra den vestlige del af Limfjorden til Horsens Fjord (Fig. 6). I den sydlige del af Salling er Danienkalken mere



Figur 5. Isopakyt-kort over den samlede tykkelse af kalksten fra Sen Kridt og Danien i Danmark (efter Liboriussen et al. 1987).

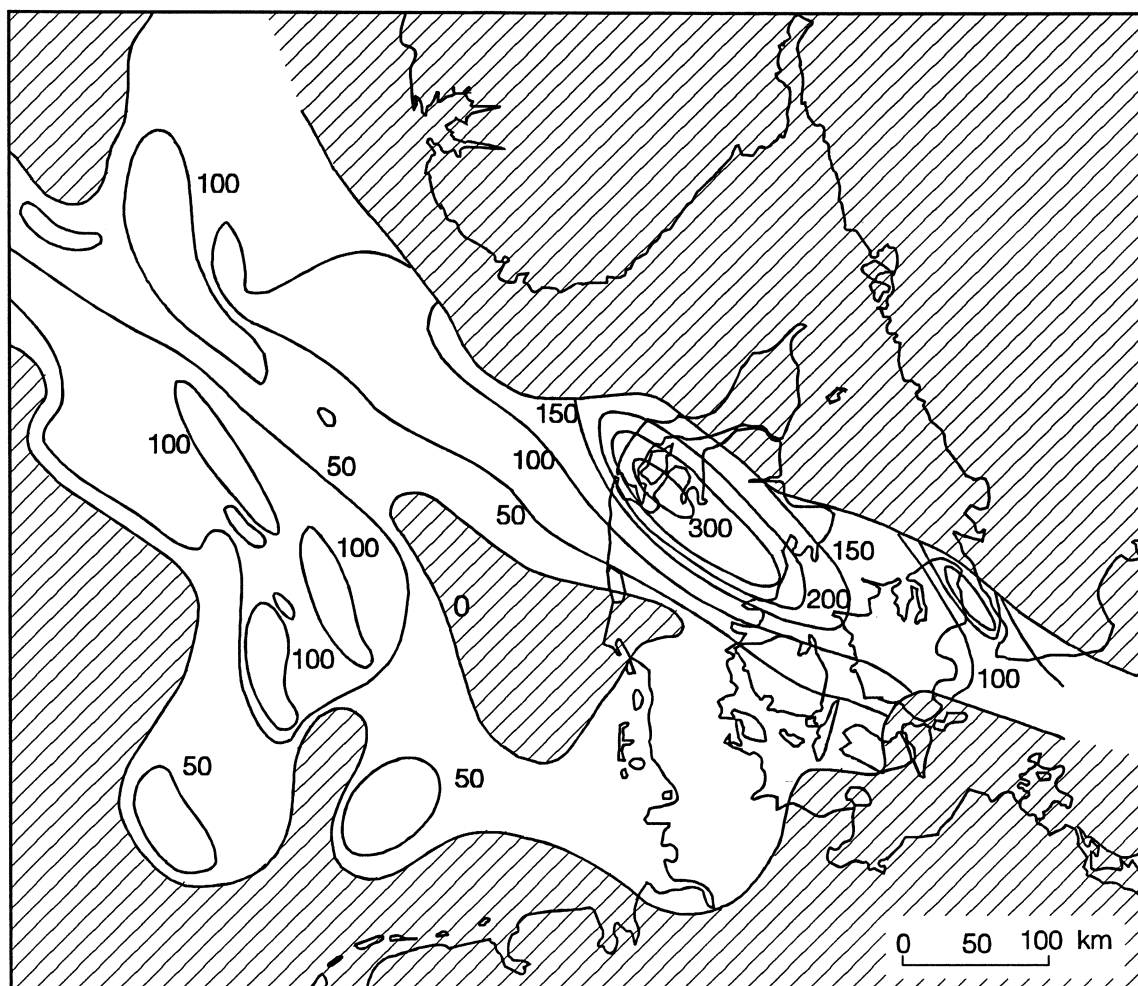
end 350 m tyk, og den udgør mellem 1/3 og 1/4 af den samlede kalklagpakke på 1000-1500 m i dette område. Længere mod syd over Ringkøbing-Fyn Højderyggen og i Sønderjylland er Danienuaflejringerne ganske tynde (10-20 m), og de kan lokalt helt mangle.

I de følgende afsnit vil de danske kalkformationer blive gennemgået enkeltvis i kronologisk rækkefølge. Danienukalken er den mest komplekse, og vil dog få den grundigste behandling. Gennemgangen afsluttes med nogle få bemærkninger om de vigtigste palæogene mergelforekomster.

5. AFLEJRINGER FRA KRIDT

Det Danske Bassin indgik i Kridt i et stort indsynkningsområde, der omfattede det nuværende Nordsø-

bassin samt store dele af de tilgrænsende landområder fra Polen i øst til England i vest. I begyndelsen af Kridt var sedimentationsmønstret præget af mindre, forkastningsbetingede subbassiner, hvori store mængder af terrigene sedimentter ophobedes (Hancock 1990). I Barremien begyndte havet langsomt at trænge ind over de omgivende landområder. I Albien tog denne transgression fart, men den kulminerede først i Campanien. På dette tidspunkt var 82% af Jordens overflade dækket af vand mod i dag 71%. Samtidig med transgressionen skiftede aflejringerne gradvis karakter fra at være domineret af terrigent ler og sand til at bestå af biogen, pelagisk kalksten. Skiftet begyndte så småt i midten af Tidlig Kridt (Sen Hauterivien), men det var først fra begyndelsen af Sen Kridt, at kalksedimentation blev enerådende.



Figur 6. Isopachyt-kort over kalksten fra Danien i Danmark.

Nedre Kridt

Tuxen Formationen

Tuxen Formationen består af en lys grå til hvidlig skrivekridtlignende pelagisk kalksten. Tykkelsen varierer fra ca. 25 m til 90 m (Jensen *et al.* 1986; Ineson 1993). Formationen er begrænset til de centrale dele af Nordsøbassinet, hvor den overlejrer, og er omgivet af, homogene leraflejringer.

Tuxen Formationen, der blev aflejret i Sen Hauterivi-en til Mellem Barremien (alder ca. 133-127 mio. år) (Fig. 2), er den ældste større kalkstensformation i Nordvesteuropa, der er opbygget hovedsagelig af kokkolitter (Thomsen 1987). Tuxen Formationens øverste del er enestående ved i det væsentlige at bestå af nannoconider, en uddød gruppe pelagiske organismer, hvis slægtskab med andre organismer er ukendt.

Nannoconider optræder normalt kun i større mængder i tropiske og subtropiske aflejringer.

Munk Merglen, der bliver omtalt senere, findes ca. en trediedel under toppen af formationen.

Sola Formationen

Over Tuxen Formationens kridtsten følger i Nordsøen Sola Formationen (Fig. 2). De fleste lag i denne 15-80 m tykke formation er mørke på grund af et stort indhold af organiske materialer, men farveskalaen omfatter også røde, gule og grålige nuancer. Lamine-rede lag veksler med bioturberede (Jensen *et al.* 1986; Thomsen & Jensen 1989). Fælles for alle lagene er en fin kornstørrelse og et stort kalkindhold. De fleste lag må klassificeres som mergler eller kalksten. Kalken stammer fra pelagiske kalk-nannofossiler. Kokkolitter dominerer, men nannoconider kan være almindelige

især i de nederste lag. Aflejningsmiljøet var gennemgående præget af iltfattige bundforhold.

Sola Formationen er begrænset til de centrale dele af Nordsøen, men mange af lagene kan genfindes i det Nedre Saksiske Bassin i Nordtyskland. Dette bassin var i det meste af Tidlig Kridt kun adskilt fra Nordsøen ved en undersøisk højderyg (Kemper 1982). Sola Formationens alder er Sen Barremien til Mellem Aptien (127-115 mio. år).

Rødby Formationen

Imellem Sola Formationens mørke kalk- og mergelsten og det hvide kridt fra Cenomanien ligger Rødby Formationen. Denne består i Nordsøen af rødbrune, grønne eller grålige kalk- og mergelkalksten (Jensen *et al.* 1986; Thomsen & Jensen 1989). Som i de omgivende formationer består kalken af kalk-nanofossiler, mest kokkolitter. Aflejningsmiljøet var gennemgående præget af velilte bundforhold, og var derfor meget forskelligt fra forholdene under aflejringen af den underliggende Sola Formation.

Rødby Formationen dækker et langt større område end de underliggende formationer. I Danmark kan den følges i boringer i den sydlige del af det Danske Bassin og over det meste af Ringkøbing-Fyn Højderyggen (Larsen 1966). Mod nordøst i det Danske Bassin op imod det Fennoskandiske Skjold går de kalkholdige sedimente over i lerede, marine og sandede, kontinentale aflejringer (Larsen 1966).

Rødlige mergler og kalksten af samme alder kendes fra den engelske og hollandske del af Nordsøen samt fra England og Nordtyskland (Nedre Saksiske Bassin). I Danmark varierer tykkelsen fra 15-45 m i Nordsøen til 167 m i det Danske Bassin (Vemb-1) (Larsen 1966; Jensen *et al.* 1986). Rødby Formationen henføres til Albien (112-97 mio. år).

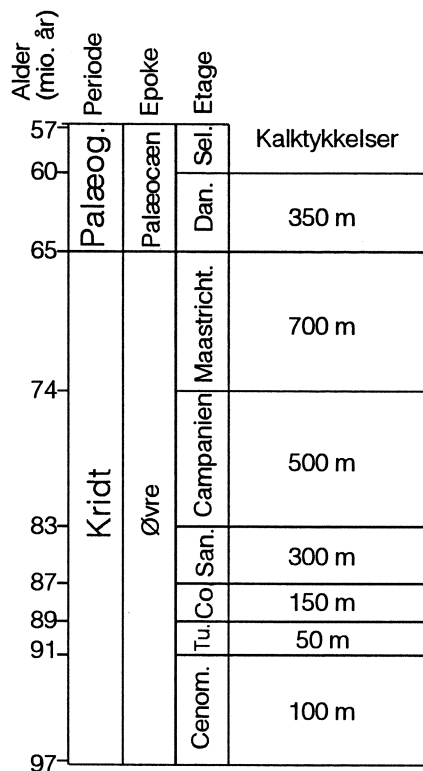
Øvre Kridt

Skrivekridt

Kalkens sammensætning er beskrevet i afsnittet om danske kalkbjergarter.

Skrivekridtets tykkelse i Nordsøbassinet er typisk mellem 400 m og 500 m (Hancock 1990). På højderygge kan den være mindre, ligesom den i bassiner og grave som regel er større. De største tykkelser er fundet i det Danske Bassin (boringen Lavø-1) med næsten 2000 m, hvoraf ca. 1200 m falder i Campanien og Maastrichtien (Fig. 7) (Stenestad 1972).

I den danske undergrund er alle Sen Kridt etagerne repræsenteret. Kridtstenene fra Cenomanien, Turoni-

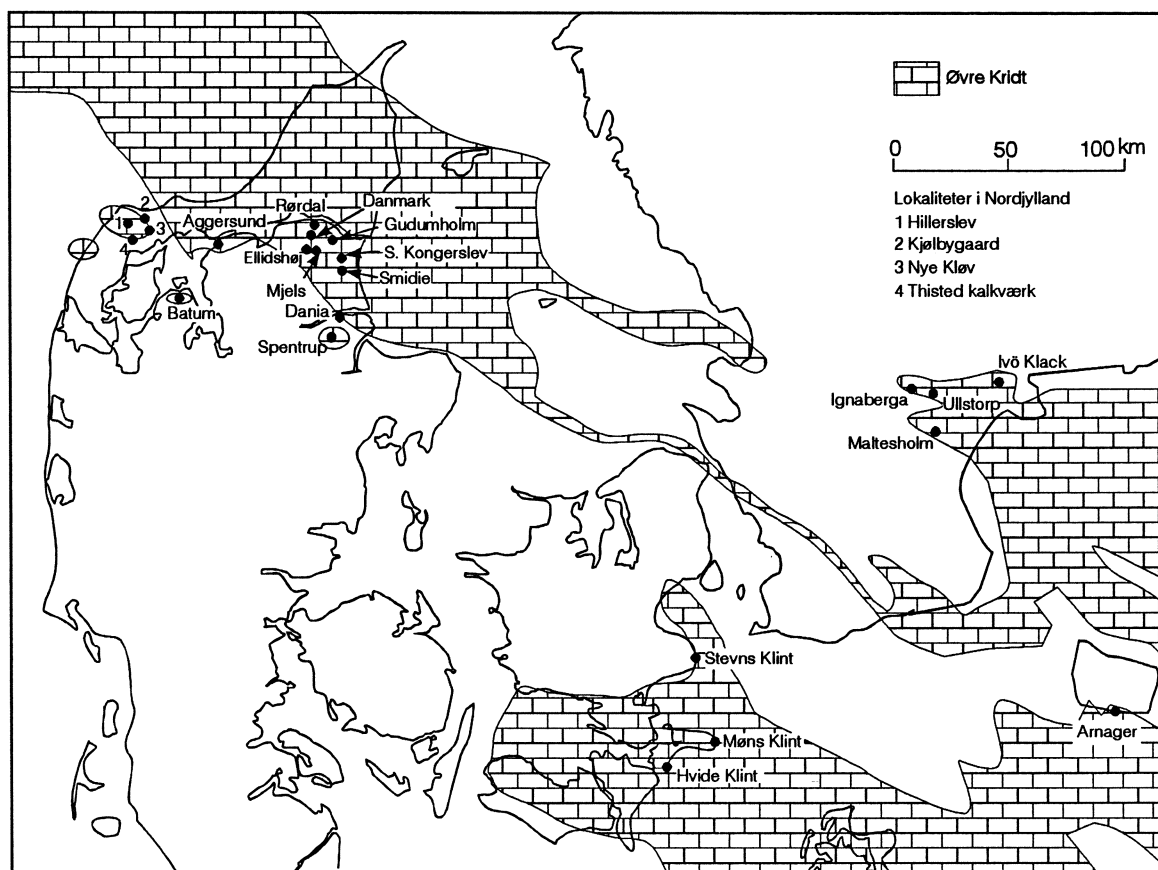


Figur 7. Oversigt over de maksimale kalktykkelser i de enkelte etager fra Kridt og Danien i Danmark (tykkelsen af Kridtetager efter Stenestad 1972).

en, Coniacien og Santonien er hårde og har ofte et betydeligt indslag af mergelsten. Aflejringerne fra Campanien og Maastrichtien er som regel bløde og har færre mergellag. De udgør det egentlige skrivekridt. Den bornholmske Arnagerkalk fra Coniacien er et eksempel på den ældre kridtsten. Den 12-20 m tykke enhed afviger dog ved at være stærkt kiselholdig. Kalkindholdet er kun 50-60%. Kiselen stammer utvivlsomt fra kiselsvampe, der, efter spor i kalken at dømme, må have været meget almindelige, og måske var medvirkende ved opbygningen af de banker, der kan spores i kalklagene (Noe-Nygaard & Surlyk 1985).

Alle øvrige daglokaliteter i Danmark henføres til Maastrichtien (Fig. 8 og 9), selv om det er muligt, at skrivekridtet centralt i Thisted Saltstrukturen tilhører Øvre Campanien (Hansen & Håkansson 1980).

Lag af Campanien alder er dog blottet i Kristianstad Bassinet i det østlige Skåne (Fig. 8 og 9) (Christensen 1975). Sedimenterne er her kalksand og kalkgrus sammensat af mere eller mindre slidte fossiler (især kalkalger, bryozoa, brachiopoder, muslinger, snegle,



Figur 8. Geologisk kort over den prækvartære overflade i Danmark med udbredelse af lag fra Kridt og markering af vigtige lokaliteter i Danmark og Skåne (kortgrundlaget baseret på Håkansson & Petersen 1992).

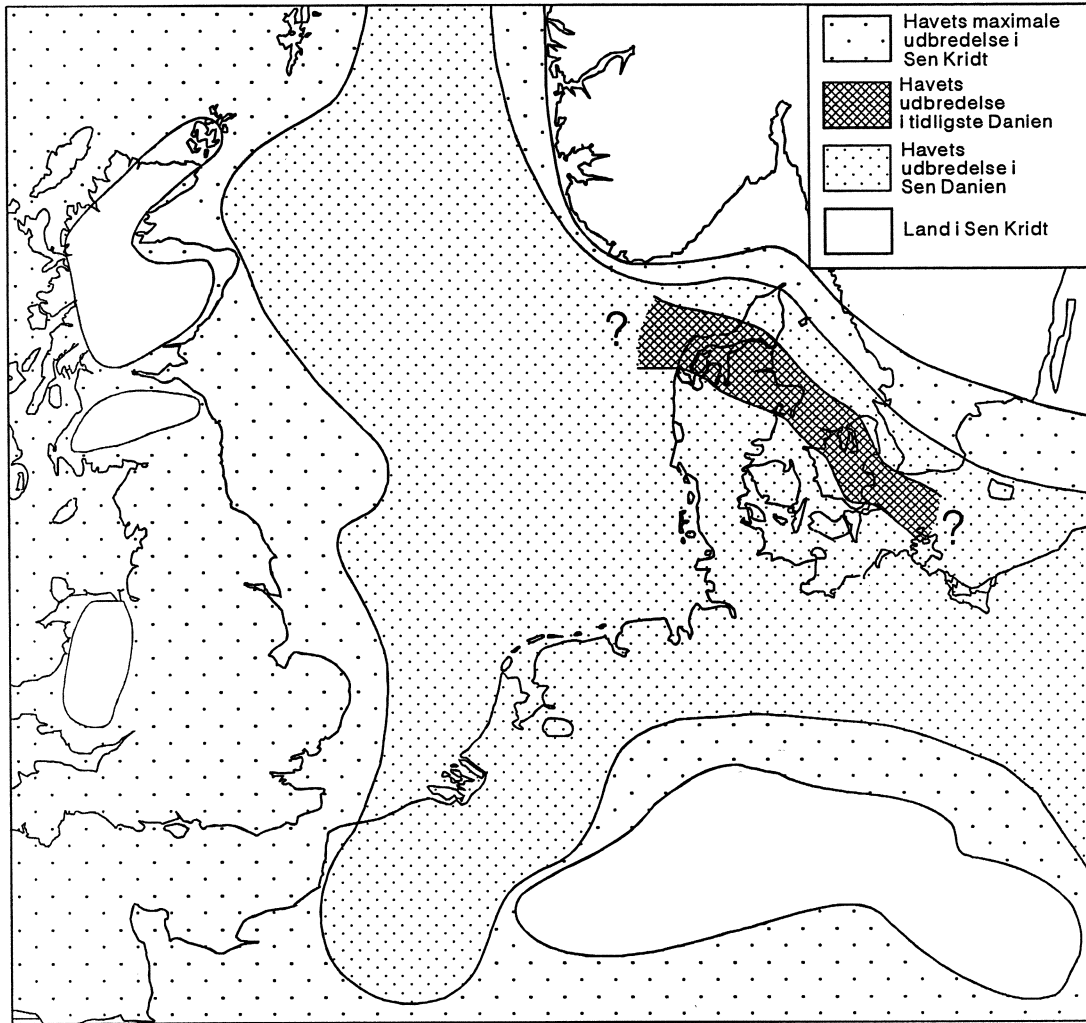
belemnitter m.fl.). Kalken er aflejret i lavvandede bugter og fjorde eller direkte på den hårde klippekyst (Surlyk & Christensen 1974).

Maastrichtien er helt domineret af skrivekridt. Generelt spiller benthoniske organismer en uvæsentlig rolle, men lavvandede og kystnære facies kan dog være benthos-rige. Sådanne facies kan fx findes i Skåne, Stevns Klint, Møns Klint og på Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Alle disse steder kan bryozoa være lige så almindelige som i Danien bryozokalken. På Ringkøbing-Fyn Højderyggen afsluttes Maastrichtienlagene med en 120 m tyk bryozokalk, der i skylleprøver ikke kan adskilles fra den overliggende bryozokalk fra Sen Danien (Thomsen 1974). I Stevns Klint danner skrivekridtbryozoaerne tilmed banker.

Biostratigrafi og korrelation. Maastrichtien skrivekridt er rigt på fossiler fra mange forskellige dyre- og plantegrupper, og adskillige har været anvendt til biostratigrafi, fx ammonitter, belemnitter, brachiopo-

der, dinoflagellater, foraminiferer og kalk-nannofossiler (Surlyk & Birkelund 1977). Mange års erfaringer har dog vist, at de biostratigrafiske inddelinger af Maastrichtien lagserien generelt er mindre detaljerede end inddelingerne af Danien lagserien. Forklaringen er sandsynligvis, at i Maastrichtien havde det marine miljø i Nordvesteuropa stort set været uændret i næsten 40 mio. år, hvorfor de evolutionære processer og udskiftningen af arter forløb relativt langsomt. Hvad angår Maastrichtien, har brachiopoder vist sig et yde den mest detaljerede zoner.

På grundlag af brachiopoder inddelte Surlyk (1970, 1984) Maastrichtien lagserien i Danmark i ti zoner. Den yngste zone fandtes udelukkende på lokaliteter, hvor skrivekridtet var overlejret af kalk tilhørende den ældste Danienzone (Stevns Klint, Dania, Nye Kløv m.fl.). Alle øvrige lokaliteter er af zone 9 eller ældre alder. De nordjyske lokaliteter ved Aggersund og omkring Aalborg tilhører zonerne 7-9, mens kridtet på Møn tilhører zonerne 1-7.



Figur 10. Palæogeografisk kort visende havets udbredelse i henholdsvis Sen Kridt (Campanien), tidligste Danien og Sen Danien.

ren faldt planktonproduktionen, og vinterens leralamina afsattes. Hvis Munk Merglen var blevet bioturberet, ville de forskellige floraer være blevet blandet og have givet en artsammensætning som i det omgivende kridt. Det kan antages, at samme aflejningsmønster også var gældende i de omgivende kridtaflejringer og i den pelagiske komponent i de øvrige danske kalkaflejringer.

Munk Merglen viser, at skrivekridtets kalk-nannoplankton blev produceret i kortvarige opblomstringer. Den viser imidlertid også, at de enkelte skaldele sjældent aflejredes enkeltvis. På langt de fleste lagplaner er nannofossilerne koncentreret i afgrænsede klumper med en diameter på 200-1000 µm. Klumperne er pel-

lets (ekskrement-piller), og deres store antal viser, at langt det meste plankton blev spist, før det nåede bunden (Thomsen 1989).

6. AFLEJRINGER FRA DANIEN

Stratigrafi

Danien er den ældste etage i Palæogen. Den varede i ca. 5 mio. år fra 65 til 60 mio. år før nu. Danien-etagen ligger over Maastrichtien, den øverste etage i Kridt. Daniens nedre grænse er således identisk med den nedre grænse af både Palæogen og Kænozoikum. Danien blev introduceret i 1847 af den franske geolog

Krono-stratigrafi		Biostratigrafi														
Palæocæn	Sen	Seland.	Makrofauna Ødum (1926)	Tylocidaris pigge Nielsen (1938)	Dinoflagellater Hansen (1977)	Foraminiferer Bang (1982)	Kalk-nannofossiler (kokkolitter)									
							Perch-Nielsen (1979)	Denne artikel	Martini (1971)							
Tidlig Danien	Sen		D	T. vexilifera	H. crypto- vesiculata	G. sp. 5 zonule	S1 N. perfectus	9	NP 5							
						G. sp. 6 zonule	D10 Ch. bidens	8	NP 4							
						Klintholm ass.	D9 N. saepes	7								
						T sp. 4 zonule	D8 P. martinii	6	NP 3							
						G. gigantea z.	D7 N. modestus									
		D6 P. rosenkrantzii	5													
	Mellem			C	T. bruennichi	X. lubricum	Sandbjerg ass.	D4 P. dimorphosus	4	NP 2						
								D3 Cr. tenuis	3							
							Tidlig			B	T. abildgaardii	X. rugulatum	Boesdal ass.	D2 P. sigmoides	2	NP 1
														D1 B. sparsus	1	
A			A	Tylocidaris absent	C. cornuta	Eoglob. danica zonule										

Figur 11. Korrelation mellem biostratigrafiske zoneringer anvendt i Danien i Danmark.

E. Desor, der fandt, at fossiler fra forskellige danske og franske lokaliteter, deriblandt Stevns Klint og Fakse kalkbrud, måtte repræsentere en hidtil ubeskrevet del af Jordens historie. Desor placerede den nye etage som øverste etage i Kridt, bl.a. fordi de danske aflejringer bestod af kalk og derved lignede Kridttidens skrivekridt. Lokaliteterne ved Stevns og Fakse blev udpeget som typelokaliteter for den nye etage, der fik navn efter Danmark.

Allerede kort efter introduktionen opstod en debat om placeringen af den nye etage. Det var dog først omkring 1960, at Daniens placering som den nederste etage i Kænozoikum generelt blev accepteret. Der er i dag bred enighed om, at den faunistiske forskel mellem Maastrichtien og Danien, og dermed mellem Kridt og Palæogen, er meget betydelig, og at grænsen er markeret af en brat forsvinden af mange arter og organismegrupper. Overgangen fremstår som et af de voldsomste skift i livets udvikling.

I 1988 valgtes et geologisk profil i Tunis som nyt typeprofil for Danienetagens nedre grænse. Grænsen er lagt ved den store uddøen i slutningen af Kridt. Den-

ne begivenhed er utvivlsomt samtidig over hele Jorden. Danienetagen omfatter tidsrummet op til undergrænsen af den næstfølgende etage. Da denne endnu ikke er defineret, følges her den traditionelle danske definition, og overgrænsen sættes ved basis af Lellinge Grønsandet i dettes typeprofil ved Lellinge Å.

Biostratigrafiske zoneringer i Danien

Efter den omfattende masseuddøen på grænsen mellem Maastrichtien og Danien, skete der i Danienperioden en exceptionel hurtig udvikling af nye arter. Det har derfor ikke været vanskeligt at opnå en detaljeret biostratigrafisk zonerings af Danienlagserien.

I Figur 11 er sammenstillet en række af de mest anvendte biostratigrafiske zoneringer af de danske Danienaflejringer. De forskellige zoneringer er kun delvis baseret på de samme lokaliteter eller prøveserier, og nogle af korrelationerne er derfor skønnet ud fra egne erfaringer. Mange af de anvendte benthoniske organismer (Ødum 1926, Nielsen 1938) er knyttet til bestemte facies og kan ikke anvendes i hele bassinet. For eksempel forekommer søpindsvinet *Tylocidaris*

Krono-stratigrafi		Kalk-nannofossil (kokkolit) zoneringer		Masseudløen af Kridt nannofossiler	Biantholithus sparsus	Placozygus sigmoides	Cruciplacolithus intermedius	Prinsius dimorphosus	Cruciplacolithus assymetricus	Cruciplacolithus edwardsi	Chiasmolithus danicus	Neochiastozygus modestus	Neochiastozygus saepes	Chiasmolithus bidens	Neochiastozygus perfectus	Toweius selandianus
		Perch-Nielsen (1979)	Denne artikel													
Palæogen	Selandien	S2 T. selandianus														
		S1 N. perfectus	9													
	Danien	Sen	D10 Ch. bidens	8	a, b, c											
			D9 N. saepes	7												
		Mellem	D8 P. martinii	6												
			D7 N. modestus													
			D6 P. rosenkrantzii	5												
			D5 Ch. danicus													
			Tidlig	D4 P. dimorphosus	4											
				D3 Cr. tenuis	3	a										
D2 P. sigmoides	2															
Kridt	Maastrichtien	D1 B. sparsus	1													

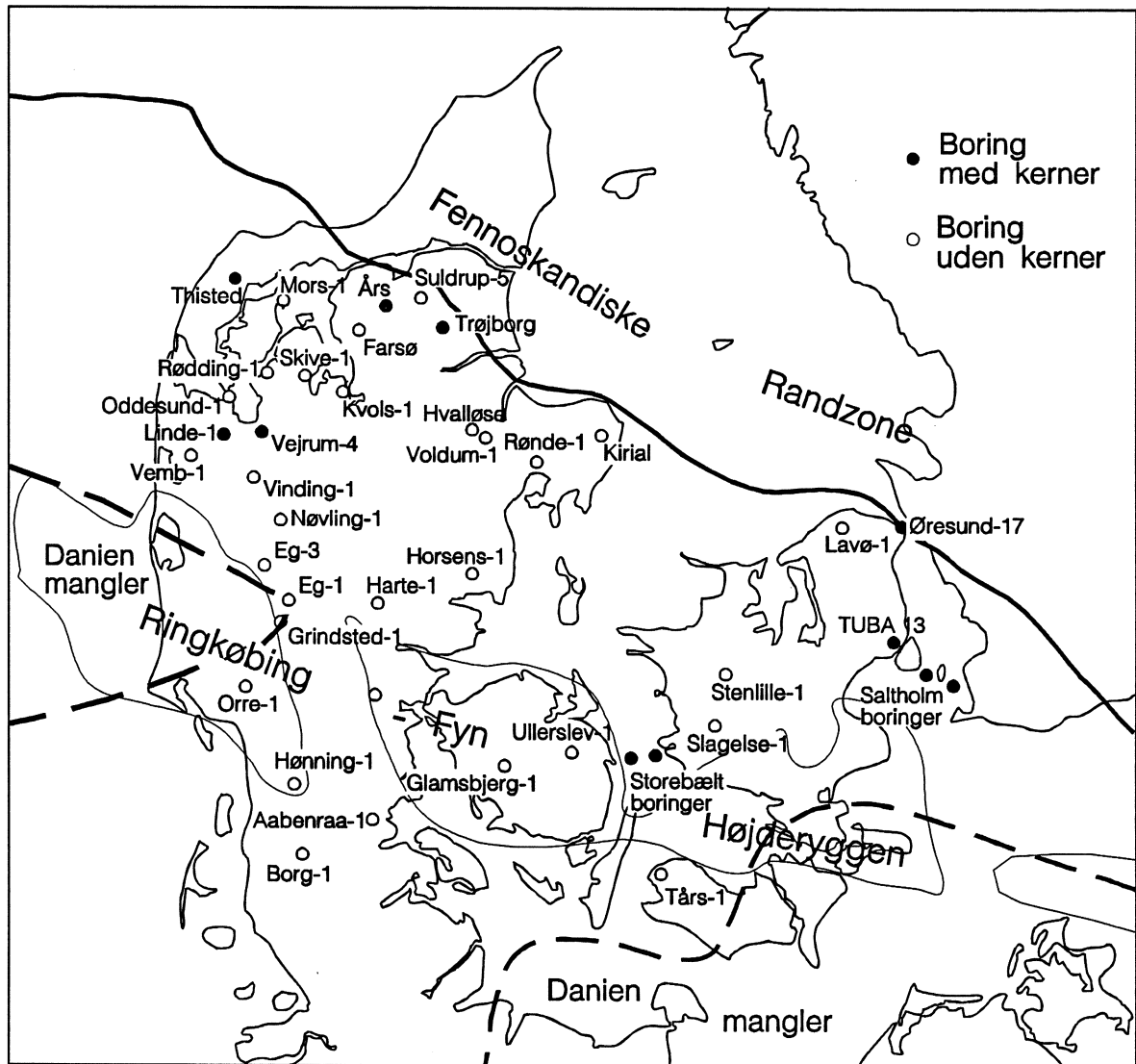
Figur 12. Den stratigrafiske udbredelse af vigtige kalk-nannofossiler anvendt til zonerung i Danien i Danmark.

næsten udelukkende i bryozokalk (Gravesen 1993). Det er desuden muligt, at de benthonisk baserede zoneringer (Ødum 1926 og Nielsen 1938) i en vis udstrækning er diakrone i forhold til de planktonisk baserede (Hansen 1977).

Den biostratigrafiske inddeling i denne gennemgang bygger på Perch-Nielsens arbejde fra 1979. Hun fandt, at man på grundlag af kalk-nannofossiler kunne inddele Danien i 10 såkaldte D-zoner. I denne oversigt er disse 10 zoner dog reduceret til 8, idet zonerne D6 og D8 er udeladt (Fig. 12). D6 kan i de fleste tilfælde kun vanskeligt adskilles fra den underliggende zone D5. D8 og D9 kan sjældent adskilles i skylleprøver. Det er senere påvist, at zone S1, som Perch-Nielsen oprettede for det tidligste Selandien, i mere kom-

plette sekvenser optræder allerede øverst i Danienkalcken (Thomsen & Heilmann-Clausen 1985, Thomsen 1994). I denne oversigt er Danienet derfor inddelt i 9 kalk-nannofossil zoner (Fig. 12), hvoraf zone 9 fortsætter lidt op i Selandien. Zone 9's overgrænse er sat ved et pludseligt, kraftigt influx af oparbejdede Kridttids-former. I typeprofilen for Lellinge Grønsandet optræder denne begivenhed tæt ved grænsen mellem Lellinge Grønsandet og den ovenfor liggende Kerteminde Mergel Formation.

Hvor kalk-nannofossilernes bevaringstilstand er god, eller prøvetætheden er stor, kan nogle zoner underinddeles i subzoner. Zone 8 kan således deles i tre (8a, 8b og 8c).



Figur 13. Vigtige boringer gennem Danienlagserien i Danmark.

Stratigrafiske tværsnit gennem Danienlagserien

I det følgende gennemgås Danienlagserien i det Danske Bassin ud fra 4 tværsnit. Snittene går fra den neogene/kvartære erosionsgrænse i nord og øst, tværs over det Danske Bassin og gennem Ringkøbing-Fyn Højbjerg. Profilerne er baseret på boringer (Fig. 13) og daglokaliteter (Fig. 14) fra hele Danmark. Den stratigrafiske indplacering af daglokaliteterne er vist i Figur 15.

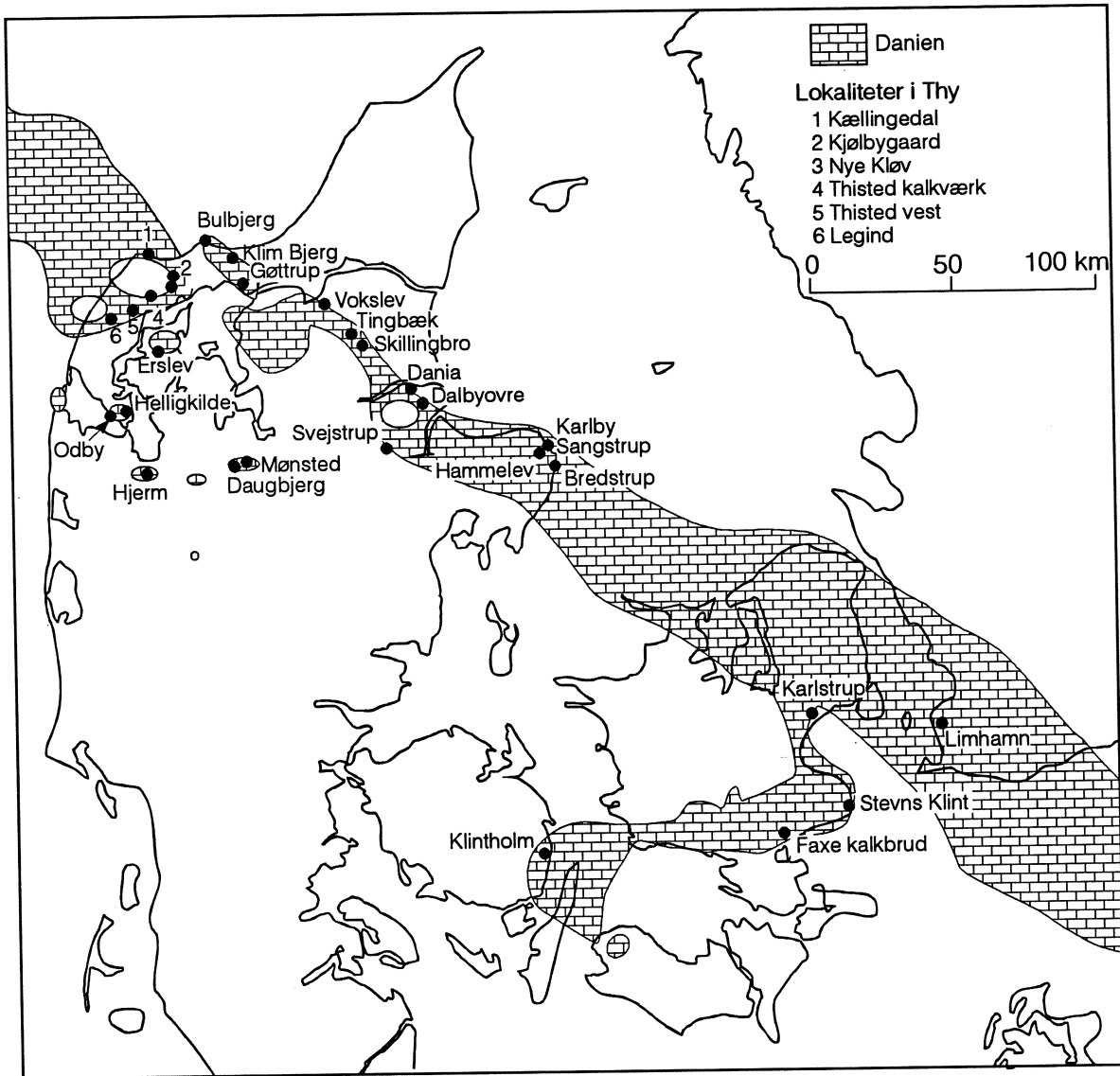
Vestjylland

Tværsnittet gennem det vestlige Jylland (Fig. 16) vi-

ser, at de største mægtigheder findes nordligst i det Danske Bassin, og at lagtykkelserne hurtigt aftager op mod Ringkøbing-Fyn Højbjerg. Boringen Rødning-1 har med 350 m den tykkeste Danienlagserie overhovedet.

Det tids-stratigrafiske profil (Fig. 16A) viser, at de ældste Danienaflejringer er begrænset til et snævert område i det nordligste Jylland, og at de yngre lag gradvist dækker større og større områder. En undtagelse er dog sedimenterne fra Zone 3 og 6, som har en tydelig mindre udbredelse end både de over- og underliggende.

Danienlagserien indledes med et 2-3 cm tykt lerlag, Fiskeleret, overlejret af en siltet kalksten, der er me-

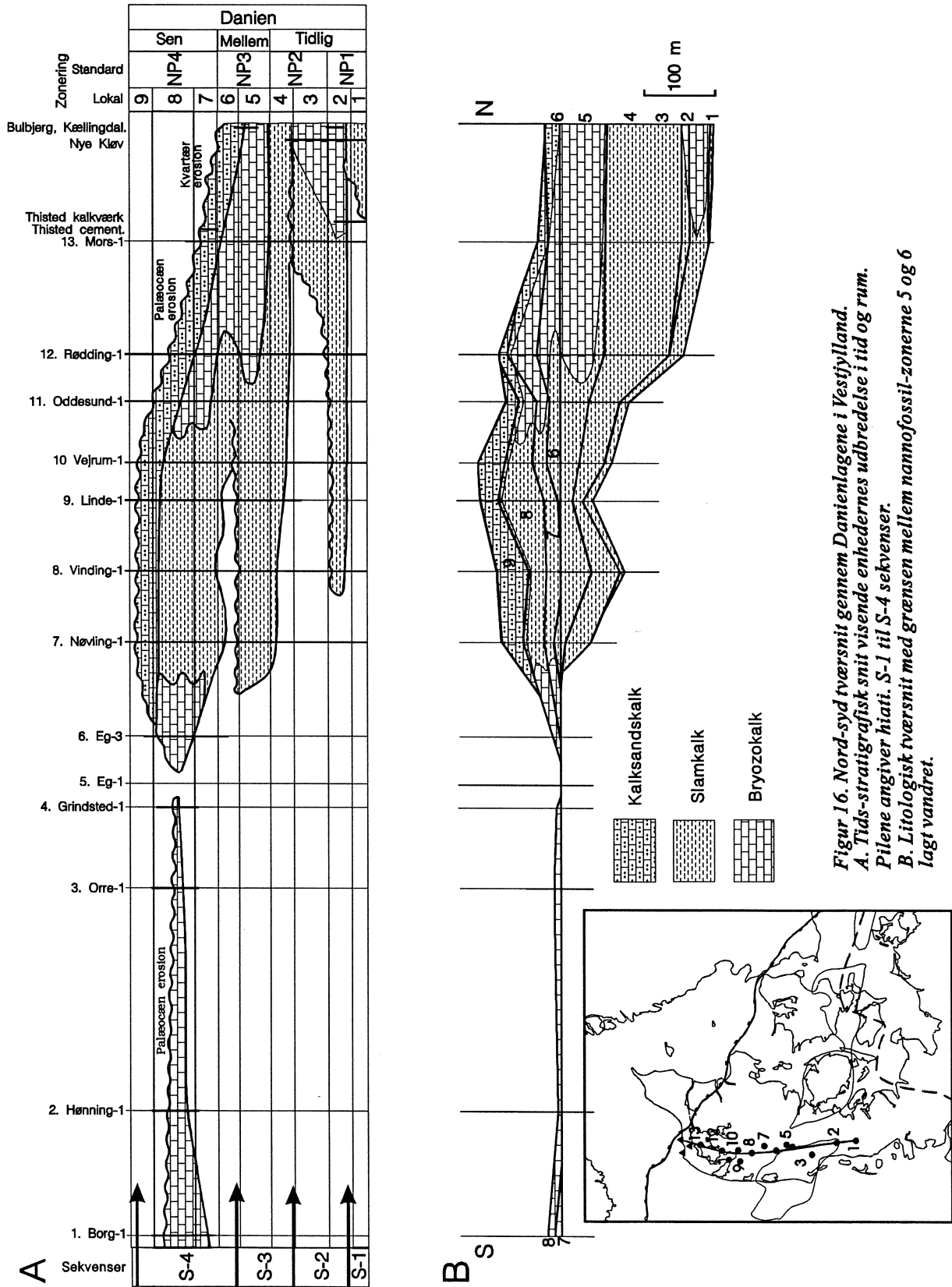


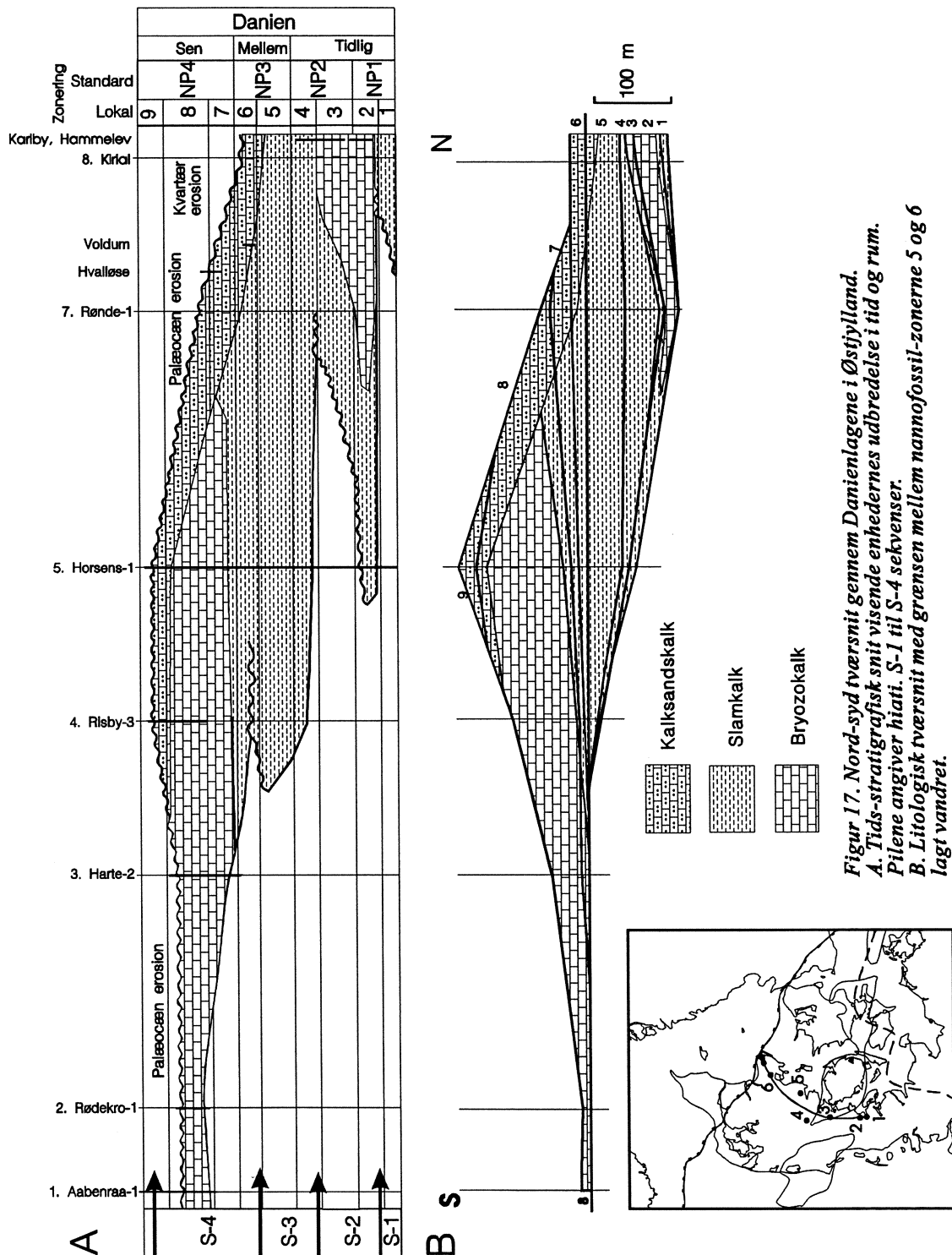
Figur 14. Geologisk kort over den prækvartære overflade i Danmark med udbredelse af lag fra Danien og markering af vigtige lokaliteter (kortgrundlaget baseret på Håkansson & Petersen 1992).

get fossilfattig. Rester af søliljer og søpindsvin kan dog lokalt være hyppige i de nederste lag. Enhederne, der både tidsmæssigt og lithologisk svarer til Fiskeleret og Cerithiumkalken i Stevns Klint, afsluttes opad af en omissionsflade med gravegange af *Thalassinoides*-typen. Kalken når sin maksimale tykkelse i profilet ved Nye Kløv, hvor den er ca. 5,5 m tyk. Resten af Danienet efter Cerithiumkalken består af to bryozokalkenheder adskilt af fossilfattig slamkalk. Den ældste enhed (i zonerne 2 og 3) findes udelukkende i det nordligste Jylland, hvor den kan studeres bl.a. i profilerne ved Bulbjerg, Klim Bjerg og Gøttrup (Fig. 14 og 15). Kalken er som regel tydelig bænket

med veludviklede bankestrukturer. Bryozokalken går mod syd gradvis over i siltet slamkalk næsten uden bryozoaer. Denne slamkalk kendes udelukkende fra borerer.

Den nordjyske bryozokalk overlejres af en meget fin-kornet næsten skrivekridtagtig slamkalk. Denne er normalt meget fossilfattig, men kan dog stedvis indeholde en del bryozoaer og irregulære søpindsvin. Slamkalken har en langt større udbredelse end bryozokalken, idet den gennem borerer kan spores til området syd for Limfjorden. I daglokaliteter er slamkalken blottet ved Legind, Odby og Helligkilde (Fig. 14 og 15). Den har også været tilgængelig i forbin-



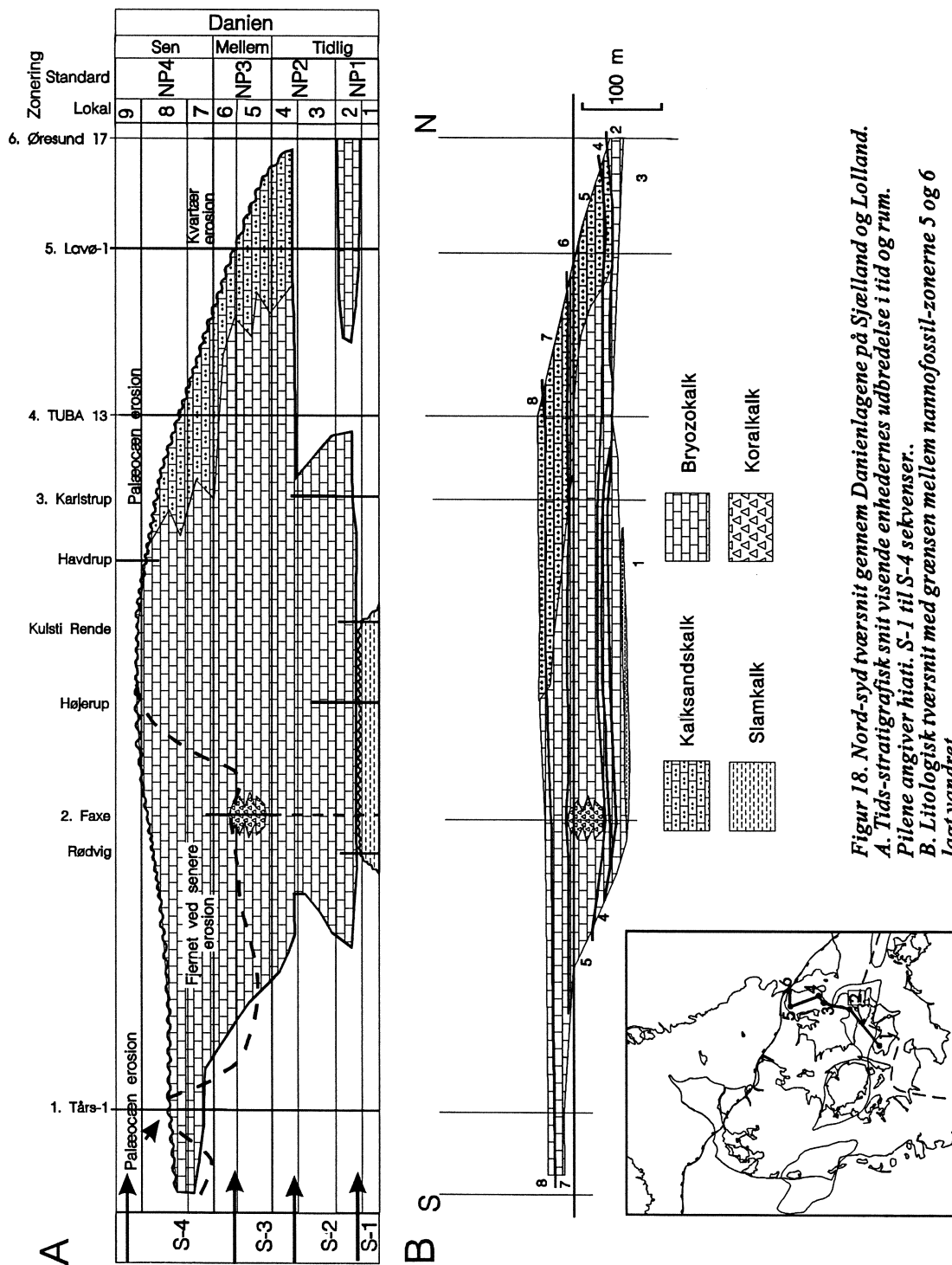


Figur 17. Nord-syd tværsnit gennem Danienlagene i Østjylland.
 A. Tids-stratigrafisk snit visende enhedernes udbredelse i tid og rum.
 Pilene angiver hiatus. S-1 til S-4 sekvenser.
 B. Litologisk tværsnit med grænsen mellem nannofossil-zonerne 5 og 6 lagt vandret.

udbredelse, idet den kan følges mod nord til egnen omkring Århus. I boringen Horsens-1 er denne bryozokalk mere end 100 m tyk.

Østdanmark

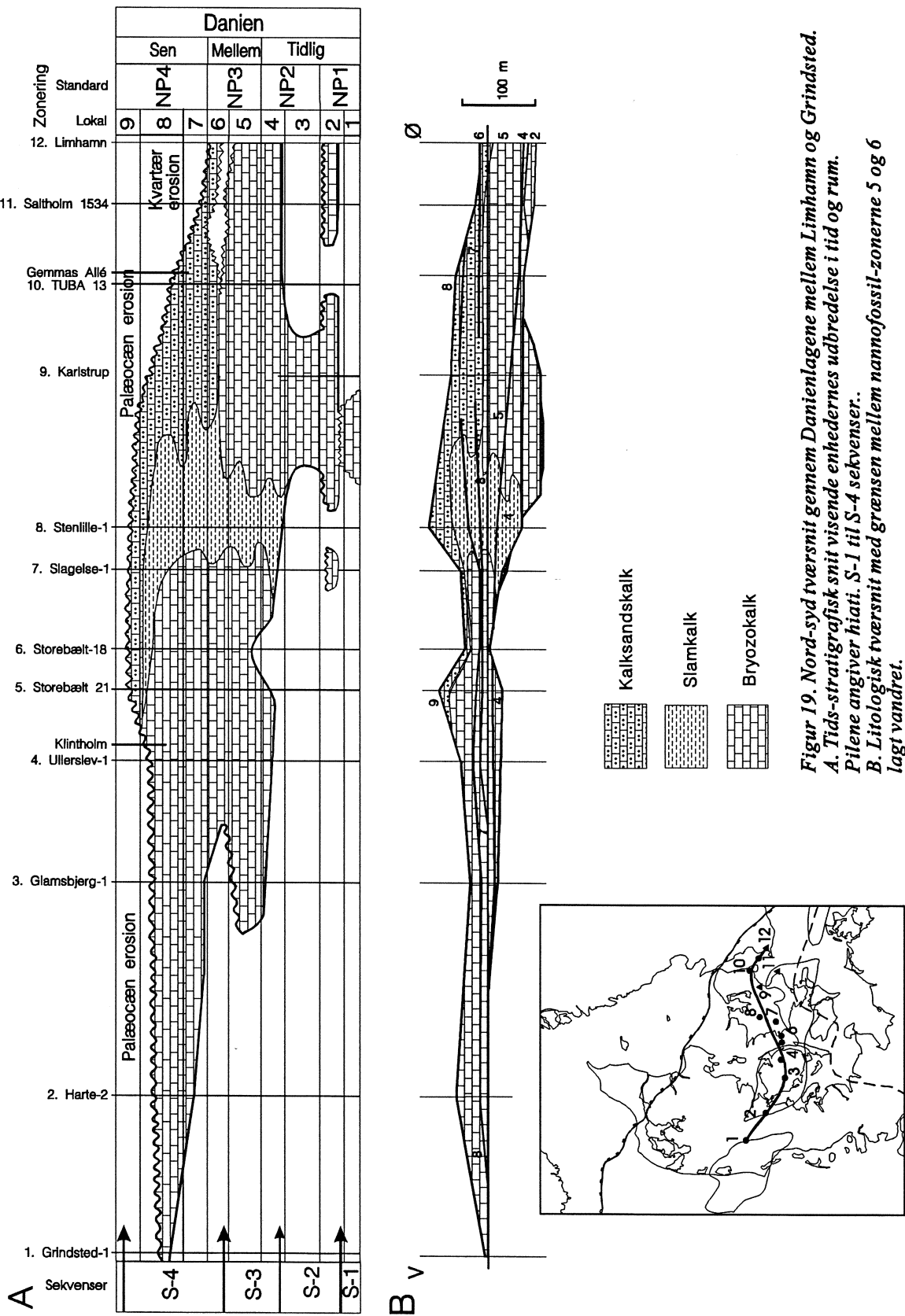
De østlige dele af tværsnittene fra Helsingør til det vestlige Lolland (Fig. 18) og fra Limhamn og op ad Ringkøbing-Fyn Ryggen (Fig. 19) bærer præg af den



Figur 18. Nord-syd tværsnit gennem Danienlagene på Sjælland og Lolland. A. Tids-stratigrafisk snit visende enhedernes udbredelse i tid og rum. Pilene angiver hiati. S-1 til S-4 sekvenser. B. Litologisk tværsnit med grænsen mellem nannofossil-zonerne 5 og 6 lagt vandret.

Fennoskandiske Randzoner nærhed, men de vigtigste kendetegn fra de vstdanske tværsnit kan stadigvæk erkendes. På ny ses en relativ ringe udbredelse af kalken i zonerne 1 og 3, men det diakrone forløb af kalksandskalken (Københavnskalken) er også påfaldende. Nedre Danien (zonerne 2 og 3) er overalt udviklet

som bryozokalk. Denne bryozokalk kan ses ved Stevns Klint og i kalkgraven ved Karlstrup (Fig. 14 og 15). I Nordsjælland skiftede aflejringstypen fra bryozokalk til kalksandskalk i Mellem Danien (zone 4). I Københavnsområdet indtrådte dette skifte først på grænsen Mellem/Øvre Danien (i zone 6). Syd for



København er hele Danien stort set udviklet som bryozokalk, bortset fra bl.a. nogle få lokale områder, hvor der i zone 5 og starten af zone 6 kan optræde koralkalk. Koralkalk kan ses i Faxe og Limhamn (Fig. 14 og 15).

Det fremgår af tværsnittene, at i Østdanmark er den totale mægtighed af Danienkalken mindre end i Vestdanmark. Den maksimale tykkelse er omkring 100 m. Bryozokalk er langt mere fremtrædende her, idet den i mange områder omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen udgør næsten hele lagserien.

Figur 20. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 1 (Tidlig Danien, nederste del af NP 1).

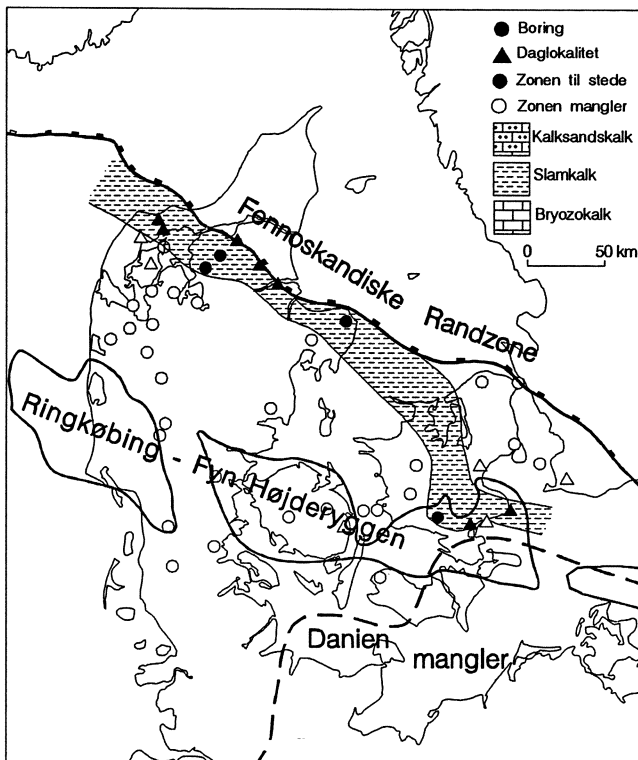
Den geologiske udvikling i Danien

Som det fremgår af de geologiske tværsnit, gennemløb det danske område store geologiske forandringer i Danien perioden. I dette afsnit vil forløbet blive gennemgået ved hjælp af palæogeografiske kort. Disse illustrerer udbredelsen af sedimentære facies i 9 tidsintervaller jævnt fordelt i Danien perioden. Hver biozone er repræsenteret med et kort. Ud over ændringerne i facies inddrages palæoekologiske tolkninger af dyre- og plantefossiler.

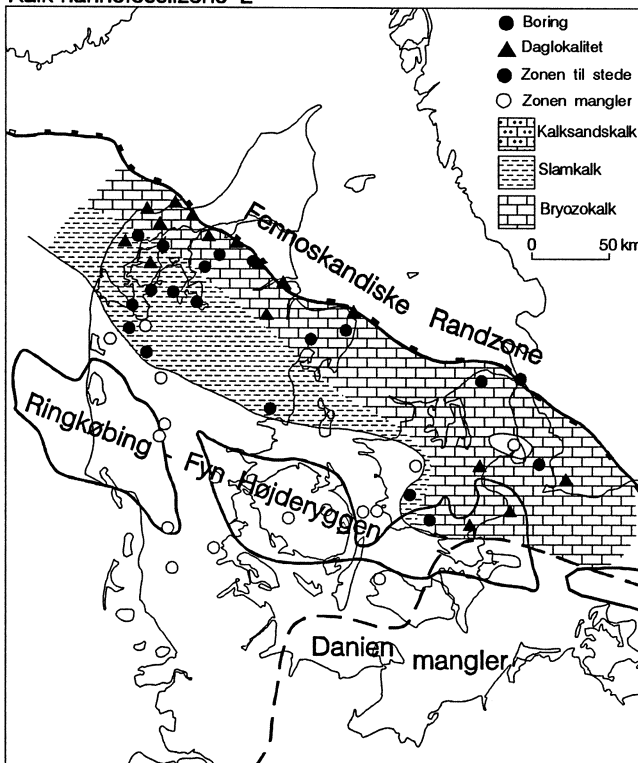
Det må indledningsvis bemærkes, at Danien sedimentationsbassinets nordrand er dårligt kendt på grund af senere opløst og erosion. Hævningen skete

Figur 21. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 2 (Tidlig Danien, øverste del af NP 1).

Kalk-nannofossilzone 1



Kalk-nannofossilzone 2



i to faser. Den første i Paleocæn påvirkede den sydlige del af den Fennoskandiske Randzone fra Anholt og mod sydøst. Den anden i Miocæn og Kvartær påvirkede den nordlige del af Kattegat og Nordjylland.

Tidlig Danien (kalk-nannofossilzonerne 1, 2 og 3)

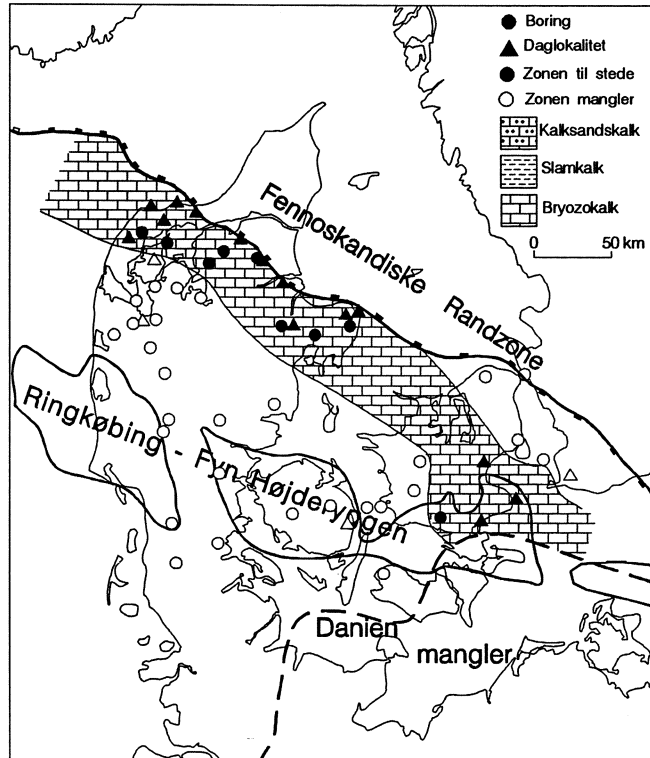
Aflejringerne fra zone 1 består af et 2-5 cm tykt lerlag, Fiskeleret, overlejret af en siltet kalkslam næsten uden fossiler (Cerithiumkalk). Aflejringer fra zone 1 er kun fundet i en snæver zone sydvest for den Fennoskandiske Randzone (Fig.

Figur 22. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 3 (Tidlig Danien, nederste del af NP 2).

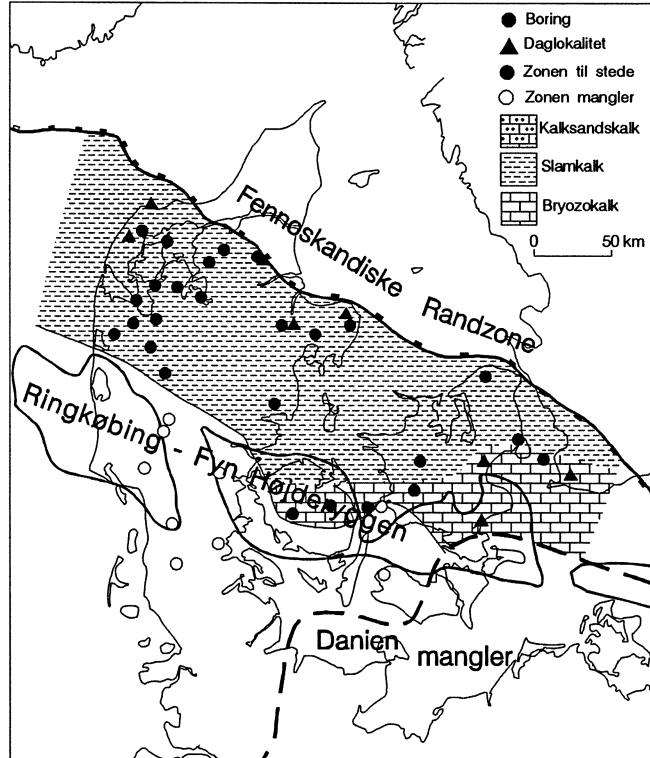
20). Tykkelsen af Cerithiumkalken varierer fra mindre end 30 cm i den østlige del af bassinet (Stevns) til ca. 550 cm i den vestlige del (Thy). Det basale lerlag tilskrives en kortvarig global begivenhed, sandsynligvis et meteornedslag. Det må derfor antages, at grænsesekvensen er komplet, når lerlaget er til stede. Cerithiumkalkens top er overalt markeret af et gravegangslag. Denne er stærkt hærdenet i Østdanmark, hvor Cerithiumkalken er forholdsvis tynd. Hærdningsgraden aftager mod nordvest, og laget er næsten uhærdenet i det nordvestlige Jylland, hvor Cerithiumkalken er tykkest. Cerithiumkalkens oprindelige udstrækning er vanskelig at bedømme, da toppen mange steder er

Figur 23. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 4 (Mellem Danien, øverste del af NP 2).

Kalk-nannofossilzone 3



Kalk-nannofossilzone 4



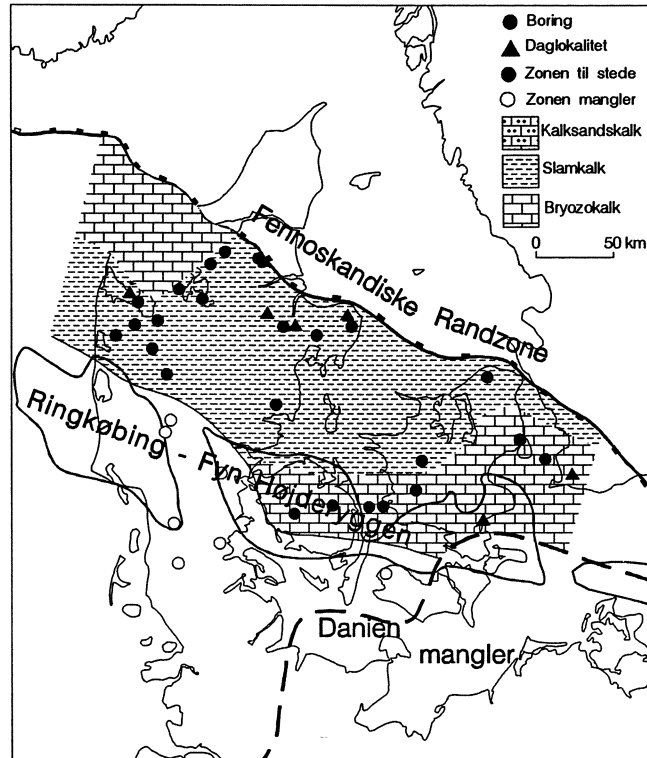
stærkt eroderet. Det er dog sandsynligt, at den oprindelig havde en betydelig større udbredelse end i dag. Sandsynligvis blev Cerithiumkalken aflejret på forholdsvis ringe vanddybde. Grænsen mellem kalk-nannofossilzonerne 1 og 2 falder i den øverste del af Cerithiumkalken. Hærdningslaget ligger derfor i den nederste del af zone 2. I begyndelsen af zone 2 udvidedes sedimentationsbassinet hastigt, og hvor der tidligere aflejredes Cerithiumkalk, blev der nu aflejret bryozokalk (Fig. 21). Sedimentationen af Cerithiumkalk ophørte dog ikke; den blev blot forskudt til sedimentationsbassinet's randområder. Det er dog

Figur 24. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 5 (Mellem Danien, nederste del af NP 3).

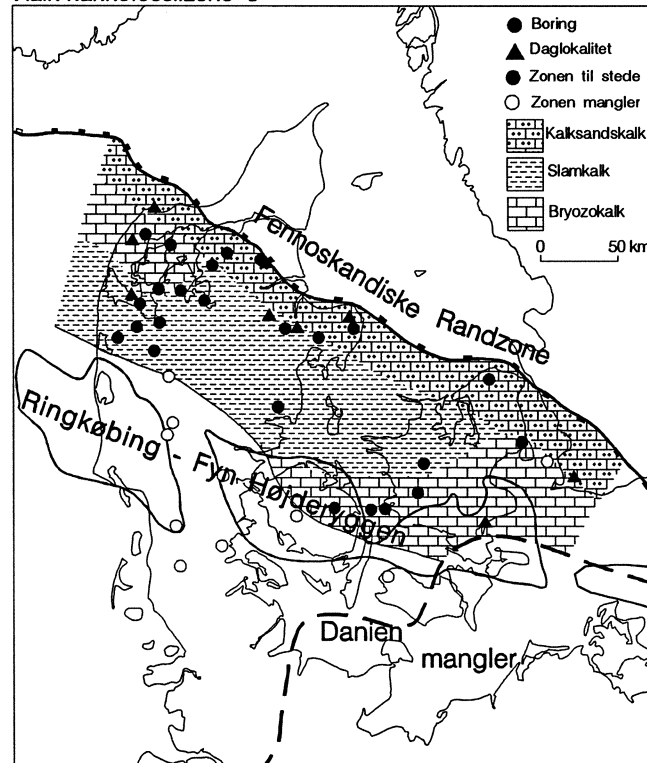
kun bassinets sydrand, der er bevaret til nutiden. Den Nedre Daniske bryozokalk udgør en sammenhængende enhed med tykkelser i Nordjylland mellem 30 og 45 m, og på Sjælland mellem 5 og 20 m. I Jylland bliver lagene tyndere i sydvestlig retning. Aflejringen fortsatte gennem zonerne 2 og 3 og ind i begyndelsen af zone 4. Lagene fra zone 2 har den største udbredelse. Allerede i begyndelsen af zone 3 indsnævreredes aflejningsbassinet betydeligt, og denne zones aflejringer er i det væsentlige begrænset til samme geografiske område som zone 1 (Fig. 22). Bryozokalken er kendt for sine veludviklede bankestrukturer.

Figur 25. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 6 (Mellem Danien, øverste del af NP 3).

Kalk-nannofossilzone 5



Kalk-nannofossilzone 6



Bankerne, der typisk er 3-5 m høje og 50-75 m i tværsnit, er asymmetriske med de stejleste flanker mod sydøst. Antagelig er bankerne opbygget af de talrige bryozoer som en følge af strøm-skabte forskelle i vækstbetingelser. Bryozoernes spinkle vækst viser, at bankerne må være dannet under bølgebasis, måske på 50-150 m dybde.

Den øverste del af bryozokalken (zone 4) er kun påvist i Østjylland (Skillingsbro og Hammelev). Mange af disse lag er udvaskede - sikkert som følge af større vandbevægelse og lavere vanddybde (den fine slamkomponent mangler, så porerummene mel-

Figur 26. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 7 (Sen Danien, nederste del af NP 4).

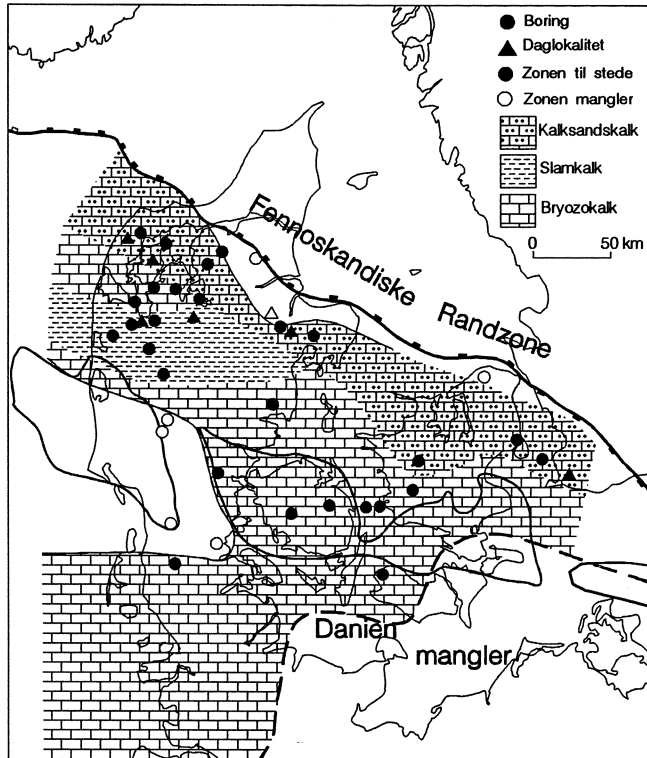
lem bryozoerne er åbne, og kalken har kornunderstøttelse). Bryozokalkens top er et hærdnet lag med gravegange meget lig gravegangslaget i toppen af Cerithiumkalken. Mange steder som f. eks. ved Limhamn er toppen tydeligt eroderet, og det er sandsynligt, at zonen oprindeligt havde en større udbredelse end i dag.

Mellem Danien (kalk-nannofossilzonerne 4 og 5)

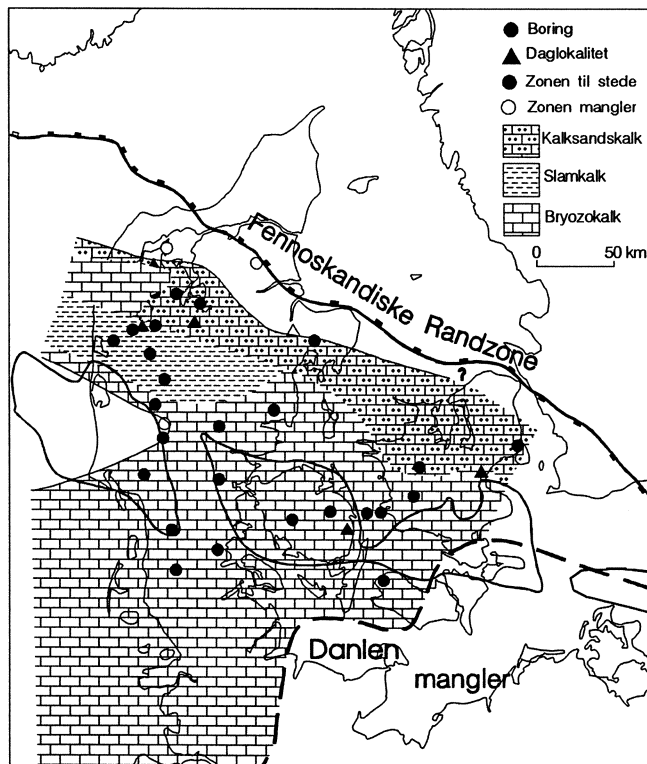
Efter regressionen i slutningen af Tidlig Danien indtraf en markant transgression i begyndelsen af Mellem Danien (zone 4). Mellem Danien aflejringer findes ikke blot i de centrale dele af det

Figur 27. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 8 (Sen Danien, mellemste del af NP 4).

Kalk-nannofossilzone 7



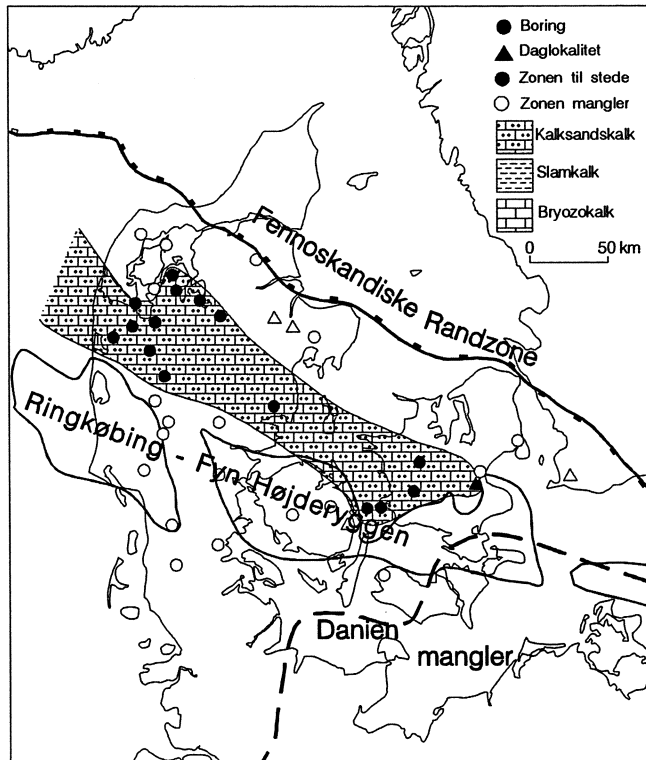
Kalk-nannofossilzone 8



Danske Bassin, men også på den østlige del af Ringkøbing-Fyn Højderyggen (Fig. 23). Samtidig med udvidelsen af aflejringsområdet foregik betydelige ændringer i fordelingen af de sedimentære facies. Mest markant ses forandringerne i Jylland, hvor bryozokalken brat afløses af en finkornet slamkalk. Slamkalken består først og fremmest af kokkolitter, hvoraf især arten *Prinsius dimorphosus* er almindelig. *P. dimorphosus* opstod i slutningen af Tidlig Danien. Den har meget små kokkolitter (<3 µm i diameter), og dens voldsomme udbredelse var af afgørende betydning for kalkens fine

Figur 28. Udbredelse af Danienkalk fra kalk-nannofossilzone 9 (Sen Danien, øverste del af NP 4).

Kalk-nannofossilzone 9



korntørrelse. I den østlige og sydlige del af bassinet var forandringerne mindre, idet aflejringen af bankedannende bryozokalk fortsatte uændret gennem hele Mellem Danien. Faciesforskellene afspejler utvivlsomt forskelle i vanddybden mellem bassinets vestlige og østlige dele, med størst dybde i vest.

Stedvis er bryozokalken meget rig på koraller, og ved Faxe opbyggedes et koralrev med et areal på mere end 2km². Koralrevets dannelsesmiljø har været genstand for mange tolkninger (Floris 1980, 1992; Bernecker *et al.* 1990; Willumsen 1993). Sandsynligvis foregik størstedelen af revets vækst under den fotiske zone (lyszonen). Nye fund af borer af boremuslingen *Lithophaga* (Willumsen 1995) og algegræssende skallus (S.B. Andersen pers. medd.) sandsynliggør dog, at dele af revet i slutningen af dets levetid må have ligget på lavt vand i den fotiske zone.

I begyndelsen af Mellem Danien (zone 4) blev der aflejret slamkalk overalt i de vestlige dele af det Danske Bassin. Bryozoerne vendte dog tilbage allerede i zone 5, idet der etableredes et mindre område med aflejring af bryozokalk i Jyllands nordvestligste hjørne (Fig. 24). Her, som i bryozokalken fra Tidlig Danien, dannede bryozoerne banker. Bankerne ved Kællingedal i Thy er dog lidt mindre end deres for-

gængere, som de ellers ligner stærkt. Strandfladens horizontale snit viser, at bankerne er ovale med nordøst-sydvestgående længdeakser og de stejleste hældninger mod sydøst. I Jylland blev depocentret forskudt i sydlig retning i løbet af Tidlig og Mellem Danien således, at depocentret i Mellem Danien lå i områder, der i Tidlig Danien udgjorde bassinets sydrand. De tykkelsesforskelle mellem den østlige og vestlige del af det Danske Bassin, som kunne spores allerede i Tidlig Danien, forstærkedes yderligere i Mellem Danien. Med en mægtighed på over 200 m er Mellem Danien i Nordjylland mere end fire gange så tyk som på Sjælland.

Sen Danien (kalk-nannofossilzonerne 6-9)

I bassinets nordøstlige randområder (København, Øresund, Limhamn) er grænsen Mellem/Øvre Danien markeret af et hærtningslag med gravegange. I Limhamn-bruddet er grænsen ledsaget af tydelig erosion. I mange borer i Øresund kan der påvises en biostratigrafisk hiatus på grænsen, idet zone 6 mangler. Hærtningslaget er endnu ikke påvist i andre dele af bassinet, men det synes klart, at zone 6 også mangler i visse jyske borer (Fig. 25), og i andre er påfaldende tynd.

De forskellige vidnesbyrd peger således i retning af

en regression på grænsen Mellem/Øvre Danien. Regressionen var dog kortvarig. I Sen Danien blev sedimentationsområdet udvidet betydeligt; i begyndelsen forholdsvis langsomt (zone 6, Fig. 25), men senere meget hurtigt (zone 7, Fig. 26), og sedimenter fra zone 8 kan findes over det meste af Ringkøbing-Fyn Højderyggen og langt ned i det nordtyske bassin (Fig. 27). Faciesfordelingen i de centrale dele af bassinet var nogenlunde som i Mellem Danien. Bryozokalk dominerede i de østlige og sydlige dele af bassinet, slamkalk og kalksandkalk i de nordlige og vestlige. Ind imellem bryozobænkene træffes dog metertykke indslag af pelagiske kalksten bestående udelukkende af kalk-nannofossiler.

Tykkelsesvariationerne er markante. Syd for Ringkøbing-Fyn Højderyggen er lagene sjældent mere end 10 m tykke. I Nordtyskland gav bevægelser i saltstrukturer dog anledning til store lokale indsynkninger med mægtigheder på mere end 60 m. Nord for ryggen tiltog tykkelserne, og i Horsens-1 er bryozokalken omkring 100 m tyk.

Der ses en betydelig variation i bryozoernes vækstformer. På Ringkøbing-Fyn Højderyggen (som f. eks. ved Klintholm) er bryozoerne store og kraftige. I boringen Horsens-1 i det Danske Bassin er de derimod små og tynde. Dette afspejler sandsynligvis forskelle i vandbevægelse og dybdeforhold, med den laveste vanddybde over Ringkøbing-Fyn Højderyggen.

Samtidig med, at sedimentationsområdet udvidedes i sydlig retning, indtraf der indskrænkninger langs bassinets nordrand, idet denne gradvis blev forskudt mod syd. Ved Svejstrup nord for Randers tilhører de yngste Danienlag Zone 6, medens de syd for Randers ved Hvalløs tilhører grænseområdet mellem zonerne 7 og 8. Parallelt hermed blev den nordjyske kalk grovere og grovere. I Mellem Danien domineredes den af fin-kornet slamkalk (siltet mikrit). Disse afløstes i løbet af Sen Danien af sandede kalksiltsten og senere af siltede kalksandsten. Også på Sjælland bredte de siltede og sandede aflejringer (Københavnkalk) sig mod syd. Her skete det dog på bekostning af bryozokalken.

I tilknytning til sedimentationsområdets forskydning mod syd skete der også en flytning af depocentret således, at dette i Sen Danien lå umiddelbart nord for Ringkøbing-Fyn Højderyggen. I dette område findes de yngste Daniensedimenter (zone 9, Fig. 28). Disse består af fossilfattige siltede og sandede kalksten med et større lerindhold end tidligere. Kalk-nannofossilfloraen domineres af *Braarudosphaera bigelowi*, en

art der både fossilt og i nutiden er typisk for lavvandede lagunemiljøer, ofte med forhøjet salinitet. Hvor den er til stede, må Danienlagserien antages at være bevaret komplet.

7. HAVNIVEAUÆNDRINGER OG SEKVENSTRATIGRAFI I SEN MAASTRICHTIEN OG DANIEN

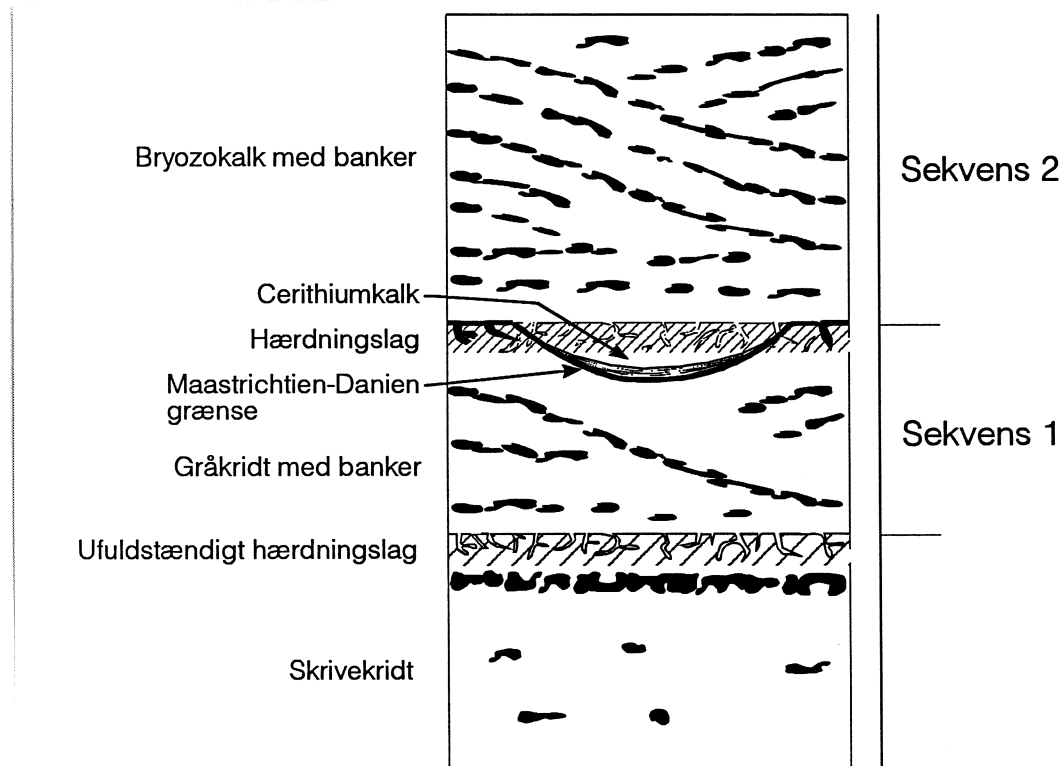
Det relative havniveau i Nordsøbassinet undergik adskillige ændringer i Sen Kridt og Danien. De mest markante af disse vil blive gennemgået i dette afsnit. Det vigtigste grundlag for tolkningen er den geografiske udstrækning og stratigrafiske placering af hiati, (huller i lagserien), kalklagenes udbredelse (onlap og offlap) samt ændringer i fordelingen af sedimentære facies. Sedimenterne har efter aflejringen været igennem adskillige faser af senere erosion heraf mindst fire inden udgangen af Palæocæn. Vurderingen af sedimentationsbassinernes oprindelige udstrækning er derfor belagt med en betydelig usikkerhed.

Kridttransgressionen nåede sit maximum i slutningen af Campanien (Fig. 10). Over hele Danmark og store dele af Sydsverige og Nordtyskland aflejredes kridt og kalk. Ti mio. år senere ved Kridt-Palæogen grænsen var sedimentationsområdet reduceret til et smalt sund i det Danske Bassin (Fig. 10).

Regressionens maximum falder i Tidlig Danien, og er markeret af det hærdnede gravegangslag øverst i Cerithiumkalken. Nogle steder (Stevns Klint) er toppen af Cerithiumkalken tydeligt eroderet. Den store uddøen på Kridt-Palæogengrænsen, ved basis af Fiskeleret, falder således lidt før den maksimale regression, og de to begivenheder har ikke noget med hinanden at gøre, som det ellers ofte har været foreslået.

Udviklingen i sen Kridt er her beskrevet som én jævn regression. Det er dog sandsynligt, at mere detaljerede undersøgelser af aflejringerne i Nordsøområdet vil give et mere komplekst billede.

Angående udviklingen i den allersidste del af Maastrichtien og i Danien er vor viden langt mere præcis. Fra toppen af Cerithiumkalken til Danien-Selandien grænsen kan 3 sedimentlegemer udskilles. Hvert legeme er op- og nedadtil, i det mindste i de marginale dele af bassinet, afgrænset af ukonformiteter med erosion, og de kan derfor betragtes som sekvenser. De enkelte legemer er transgressive i bunden og regressive i toppen, og de afspejler hver sandsynligvis en havniveaucyklus, gående fra lavt over dybt og tilbage til lavt vand.



Figur 29. Schematisk snit gennem lagene ved Højerup, Stevns Klint (baseret på skitse af Surlyk i Håkansson 1971). I profilet ses to tydelige hærdningslag, begge med tegn på moderat erosion. Enhederne (gråkridt, Fiskeler og Cerithiumkalk) mellem disse to ukonformiteter er tolket som en aflejringssekvens (sekvens 1). Grænsen mellem Cerithiumkalken og den ovenfor liggende bryozokalk er en ukonformitet, som markerer bunden af sekvens 2.

Sekvens 1 omfatter det yngste skrivekridt samt Cerithiumkalken fra Danien. Overgrænsen er det hærde gravegangslag ved toppen af Cerithiumkalken. Undergrænsen er usikker, men kan muligvis ligge ved basis af gråkridtet i Stevns Klint (Fig. 29). Begge grænser viser tegn på erosion, dog tydeligst ved overgrænsen (Rosenkrantz 1924).

Alder. Sen Kridt til Tidlig Danien (overgrænse nederst i kalk-nannofossilzone 2).

Grænselokaliteter. Nedre grænse muligvis ved basis af gråkridtet i Stevns Klint. Øvre grænse, se sekvens 2's nedre grænse.

Sekvens 2 omfatter Nedre Danien bryozokalken. Sekvensen er udbredt i de centrale dele af det Danske Bassin, og dækker et betydeligt større område end sekvens 1 (Fig. 30). Den initiale transgression forløb tilsyneladende meget hurtigt. Sekvensens øverste halvdel er regressiv. Toppen er præget af erosion, og sekvensens oprindelige udstrækning kan have været noget større end udbredelsen i dag.

Alder. Tidlig Danien (nederst i kalk-nannofossilzone 2 til nederst i zone 4).

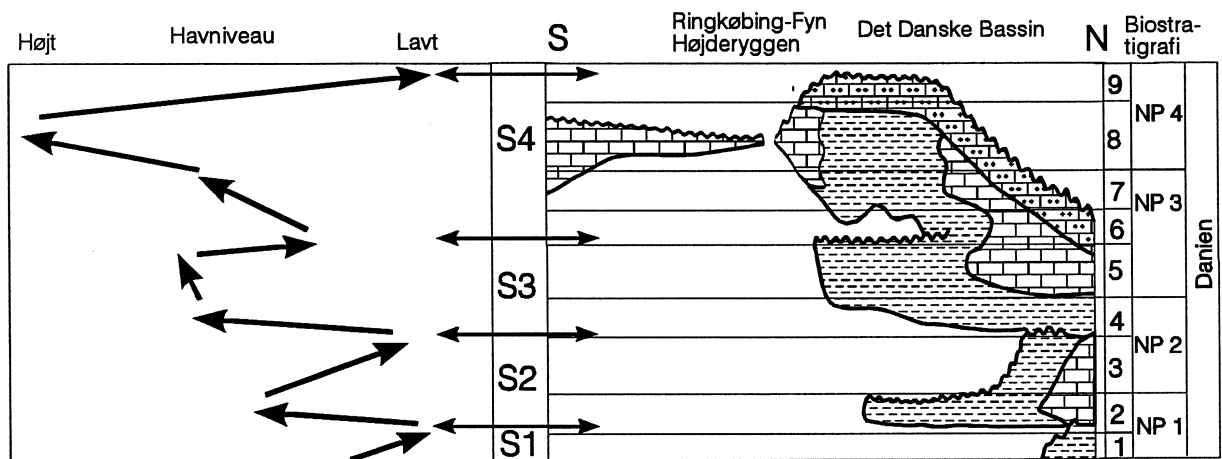
Grænselokaliteter. Nedre grænse kan ses ved Stevns Klint, Karlstrup, Limhamn, Dania, Vokslev, Nye Kløv. Øvre grænse, se sekvens 3's nedre grænse.

Sekvens 3 består af bryozokalk i den østlige del af det Danske Bassin (biohermgruppe 2 og 3 i Limhamn) og overvejende af slamkalk i den vestlige del. Sekvens 3 dækker et større område end sekvens 2 (Fig. 30), ligesom den maksimale vanddybde må have været større. Regressionen ved toppen af sekvensen synes af mindre omfang end ved toppen af sekvenserne 1 og 2.

Alder. Tidlig og Mellem Danien (nederst i kalk-nannofossilzone 4 til midt i zone 6).

Grænselokaliteter. Nedre Grænse kan ses ved Hammelev, Skillingbro, Nye Kløv og Limhamn (basis af biohermgruppe 2).

Sekvens 4 består af kalksandkalk langs den Fennoskandiske Randzone (Nordjylland, Nordsjælland og



Figur 30. Tolkning af ændringer i havniveauet sammenholdt med sekvensinddeling (S1-S4) af Danien i Vestjylland (samme som Fig. 16).

Københavnsområdet (Københavnkalk) samt bryozokalk i de østlige dele af bassinet og omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Sekvensen dækker et meget større område end de ældre sekvenser, idet den som den første trænger ind over Ringkøbing-Fyn Højderyggen (Fig. 30). Langs den Fennoskandiske Randzone er sekvensen dog regressiv, sandsynligvis som følge af inversion af randzonens sydlige del. De yngste lag er præget af lavtvands kalk-nannofossiler. Toppen er eroderet langs den Fennoskandiske Randzone og mange steder omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Overgrænsen er sammenfaldende med Danien-Selandien grænsen.

Alder. Sen Danien (midt i kalk-nannofossilzone 6 til midt i zone 9).

Grænselokalteter. Nedre grænse kan ses ved Limhamn. Øvre grænse kan ses på Amager (Gemmas Allé), ved Lellinge, Klintholm og Svejstrup.

Sekvensernes udbredelse omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen kan tolkes som et vidnesbyrd om generelt stigende havniveau gennem Danien, dog afbrudt af 4 kortvarige perioder med fald (Fig. 30). Langs Den Fennoskandiske Randzone er det relative havniveau i yngre Danien dog tydeligt faldende. Dette er tolket som resultat af randzonens inversion.

Det sidste af de 4 kortvarige fald markerer afslutningen på Danien og dermed også afslutningen på en 40 mio. år lang periode, i hvilken aflejringerne i Nordvesteuropa totalt domineredes af kalk.

Kalksedimentationen stoppede imidlertid ikke helt,

idet kalk periodisk prægede aflejringerne i både Paleocæn og Eocæn. Af disse vil kun de Paleocæne blive berørt her.

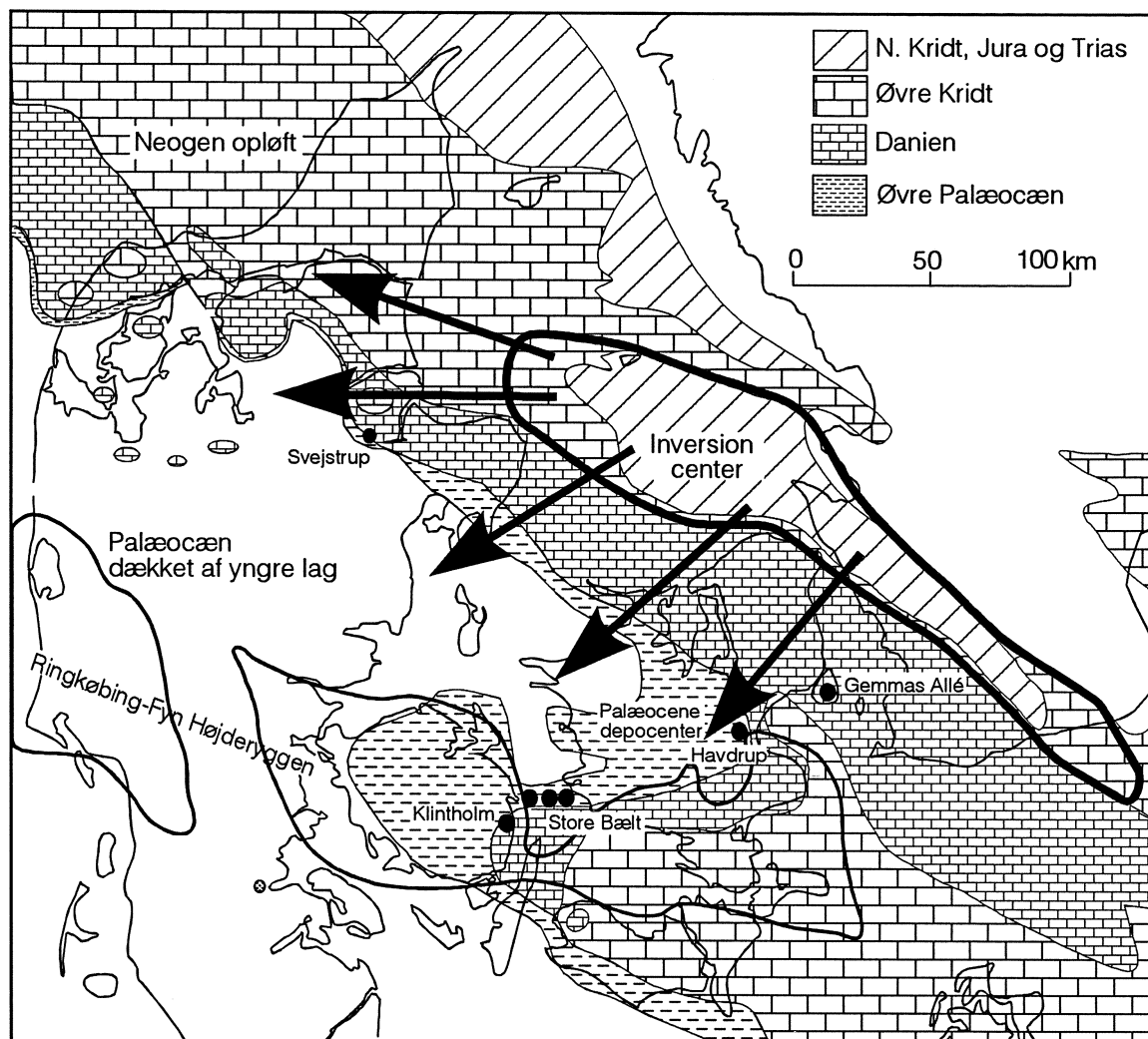
8. KALKHOLDIGE AFLEJRINGER FRA SELANDIEN

Lellinge Grønsand Formationen og Kertemindes Mergel Formationen fra Sen Paleocæn indeholder betydelige mængder af biogene kalkpartikler, som dog er påfaldende ved i vid udstrækning at være klastiske.

Lellinge Grønsandet blev oprindeligt beskrevet i Østsjælland, hvor formationen består af vekslende hårde, kalkcementerede bænke og bløde lag. Grønsandet indeholder meget glaukonit og en del kvartssand. Bundlaget er ofte konglomeratisk med rullede og slidte fossiler fra Danien blandet med skaller af dyr, der levede i det Sen Paleocæne hav.

Lellinge Grønsandet, der i Havdrup boringen nordvest for Køge (Fig. 31) er ca. 10 m tykt, overlægges af Kertemindes Merglen, hvoraf der i dette område er bevaret ca. 25 m.

I borerer i den vestlige del af Storebælt (Fig. 31) findes en lagfølge, der minder slående om den østsjællandske (Foged *et al.* 1995), men i andre områder mangler Lellinge Grønsandet, så den finkornede Kertemindes Mergel ligger direkte oven på Danienkalken. Dette er fx tilfældet i borerer i Storebælts østlige del samt ved Klintholm på Østfyn og ved Hvalløse og Svejstrup i Østjylland (Fig. 31). På de nævnte daglo-



Figur 31. Geologisk kort over den prækvartære overflade i Danmark med udbredelse af lag fra Øvre Paleocæn og Danien i forhold til ældre og yngre aflejringer (baseret på Håkansson & Petersen 1992). Den sydlige del af den Fennoskandiske Randzone inverteredes i perioden Sen Kridt til Sen Palæocæn. En af hovedfaserne forekom i Selandien. Området var da kildeområde for store mængder af skrivekridt, som via floder blev skyllet ud i de dybere dele af bassinet (angivet med pile).

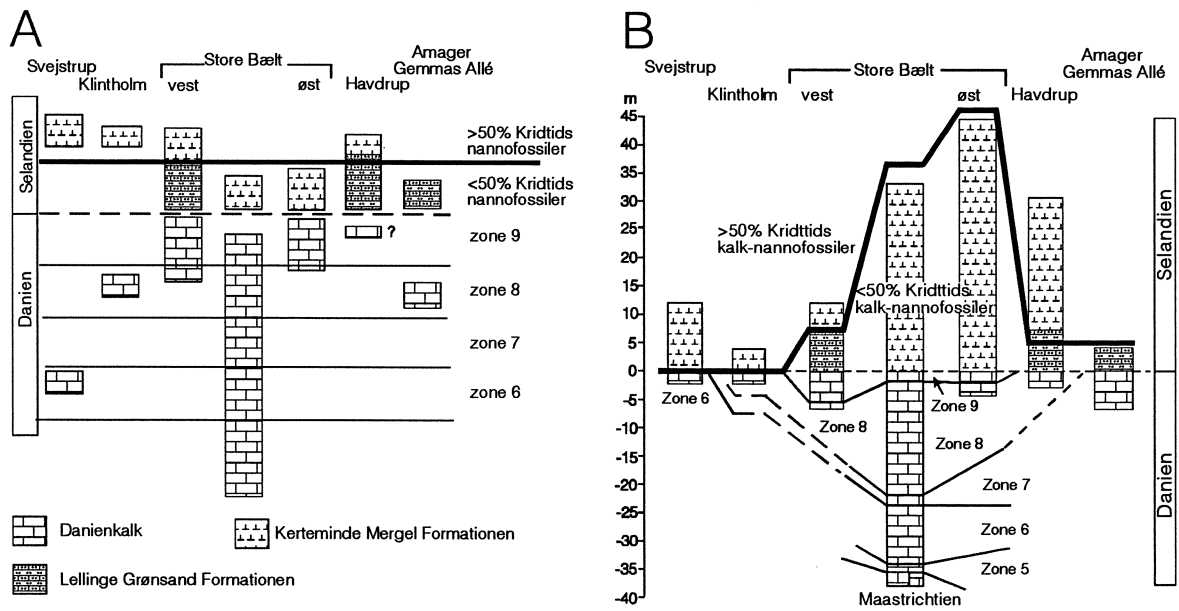
kaliteter indeholder merglens basale lag dog en del glaukonit samt rullede Danienfossiler på grænsen.

Kertemind Merglen består af ca. 50% kalk og 50% silt og ler. Kalken synes i det væsentlige at bestå af kalk-nannofossiler, hvoraf mange dog er stærkt fragmenterede og dårligt bevarede. Også Lellinge Grønsandet er rigt på nannofossiler.

I Havdrup-boringen skifter kalk-nannofloraen fuldstændig karakter inden for få meter nær toppen af Lellinge Grønsandet. I den nederste del af boringen består floraen af paleocæne arter, samtidig med

grønsandet. I den øverste del derimod udgør omlejrte Kridtformer mere end 90% af floraen. En lignende udskiftning kan iagttages i flere andre borer bl.a. i den vestlige del af Storebælt.

Den geologiske baggrund for skiftet vil blive berørt nærmere nedenfor. Her er det tilstrækkeligt at konstatere, at når en så væsentlig ændring optræder i vidt adskilte borer, må ændringerne sandsynligvis have en fælles årsag og være samtidige. Det betyder, at begivenheden kan bruges ved korrelation, og at Selandienlag med in situ floraer er ældre end lag med omlej-



Figur 32. Korrelation af Danien- og Selandienlagserien fra en række grænselokaliteter i Danmark.

rede Kridttidsfloraer.

Figur 32 A,B viser en korrelation af Danien og Selandien lagserierne på en række grænselokaliteter i Danmark. På figurerne ses store faciesforskelle inden for det Danske Bassin i begyndelsen af Selandien, hvor Lellinge Grønsandet i Østsjælland og i Storebæltets vestlige del er jævaldrende med den finkornede Kerteminde Mergel i Storebæltets østlige del. Faciesforskellene må kunne relateres til vanddybden og afstanden fra kysten. Lellinge Grønsandet er en lavtvandsfacies, der er knyttet til de kystnære områder ved den Fennoskandiske Randzone og omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Kerteminde Merglen blev aflejret på dybere vand i de centrale dele af bassinet.

I løbet af Selandien udvidedes sedimentationsområdet, samtidig med at finkornede sedimenter blev stadig mere dominerende. På lokaliteterne ved Klintholm, Hvaløse og Svejstrup mangler de yngste Danienlag (Fig. 32A), og toppen er tydeligt eroderet. Lokaliteterne lå sandsynligvis topografisk højt, og var i lang tid uden sedimentation. De første Selandien-sedimenter på disse lokaliteter stammer fra den del af Selandien, der er præget af den omlejrde Kridttidsflora. Mens sedimentationsstoppet varede, blev der aflejret mindst 45 m Kerteminde Mergel i den østlige del af Storebælt.

Omljrede Kridt-nannofossiler er almindelige i mange marine aflejringer. Kridt er blødt og let at nedbry-

de. Samtidig er nannofossilerne små og modstandsdygtige over for slid og transporteres let i suspension. De usædvanligt store mængder af omlejrde kalk-nannofossiler, som ses i Kerteminde Merglen, må dog skyldes særlige omstændigheder. Det kunne have været en forøget erosion som følge af en generel sænkning af havniveauet. Der er dog ingen overbevisende vidnesbyrd om en sådan sænkning i denne periode.

Det er langt mere sandsynligt, at forklaringen skal søges i en hævnning af dele af den Fennoskandiske Randzone. Dette område var overskyttet i Kridt og rummede store mængder skrivekridt ved begyndelsen af Selandien. Det er velkendt, at den sydlige del af Randzonen i løbet af Sen Kridt og Paleocæn gennemløb adskillige hævningsfaser (Liboriussen *et al.* 1987) (Fig. 31). Efter en rolig periode i begyndelsen af Danien tog hævnningen øjensynlig fart igen i midten af Danien. Det blev beskrevet i afsnittet om Danien, hvorledes bassinets nordlige kystlinje i Sen Danien (zonerne 6, 7 og 8) langsomt rykkede mod syd. Den bratte stigning i mængden af Kridt-nannofossiler i Kerteminde Merglen kunne betyde, at denne hævnning accelererede voldsomt i begyndelsen af Selandien.

Nannofossilerne er jævnt fordelt i kalken og er sandsynligvis ført med floder ud i bassinet i suspension og ikke gennem turbiditeter eller skred (Fig. 31). Ved toppen af Kerteminde Merglen forsvandt Kridt-nannofossilerne brat, måske fordi hævnningen var stoppet,

og baglandet var nederoderet eller måske pga. ændringer i bundvandets pH-forhold. I hele Nordsøbasinet mangler kalk-nannofossiler efter Kerteminde Merglen, og de kommer først igen i Røsnæs Leret fra Tidlig Eocæn.

9. LITTERATUR

Listen omfatter et sparsomt udvalg af den omfattende litteratur om Kridt- og Danienaflejringerne i Danmark: Hovedvægten er lagt på litologiske og stratigrafiske undersøgelser, samt på mere generelle beskrivelser.

Andersen, S.A., 1944: *Det danske Landskabs Historie. I. Undergrunden.* København. 480 pp.

Asgaard, U., 1968: Brachiopod Palaeoecology in Middle Danian Limestones at Fakse, Denmark. *Lethaia*, 1, pp. 103-121.

Baldschuhn, R., 1979: Stratigraphie und Verbreitung des Dan (Tertiär) in Nordwestdeutschland. *Zeitschr. deutsch. geol. Gesellsch.*, 130(1), pp. 201-209.

Bang, I., 1982: Biostratigraphic investigation of Danian in boreholes 505 and 515, Storebælt, on the basis of planktonic foraminifera. I: Larsen, G., Bauman, J. & Tychsen, J., (red.), Storebælt - Geological relations of the eastern channel. *DGI-Bull.*, 34, pp. 51-70.

Bernecker, M. & Weidlich, O., 1990: The Danian (Paleocene) Coral Limestone of Fakse, Denmark: A Model for Ancient Aphotic, Azooxanthellate Coral Mounds. *Facies*, 22, pp. 103-138.

Berthelsen, O., 1962: Cheilostome Bryozoa in the Danian deposits of east Denmark. *Danm. geol. Unders.*, 2, 83, 290 pp.

Birkelund, T. & Bromley, R.G., 1979 (red.), 1979: *Cretaceous-Tertiary boundary events. I. The Maastrichtian and Danian of Denmark.* University of Copenhagen, 210 pp.

Birkelund, T. & Bromley, R.G., 1980: The Upper Cretaceous and Danian of NW Europe. I: *26^e Congrès Géologique International, Paris 1980*, Guide-Book, Excursion: 069 A, 31 pp.

Birkelund, T. & Håkansson, E., 1982: The terminal Cretaceous extinction in boreal shelf seas - A multi-causal event. I: Silver, L.T. & Schultz, P.H. (red.): Geological implications of impacts of large asteroids and comets on the Earth. *Geol. Soc. Am., Special Paper*, 190, pp. 373-384.

Brotzen, F., 1959: On *Tylocidaris* species (Echinoi-

dea) and the stratigraphy of the Danian of Sweden. With a bibliography of the Danian and the Paleocene. *Sveriges geol. Unders.*, (C)2, 81 pp.

Cheetham, A.H., 1971: Functional morphology and biofacies distribution of cheilostome Bryozoa in the Danian Stage (Paleocene) of southern Scandinavia. *Smithsonian Contrib. Paleobiol.*, 6, pp. 1-87.

Christensen, W.K., 1975: Upper Cretaceous belemnites from the Kristianstad area in Scania. *Fossils and Strata*, 7, 69 pp.

Christensen, W.K., 1984: The Albian to Maastrichtian of Southern Sweden and Bornholm, Denmark: a Review. *Cretaceous Research*, (1984), 5, pp. 313-327.

Dunham, R.J., 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. I: Ham, W.E. (red.): Classification of carbonate rocks. *Am. Assoc. Petr. Geol., Mem.*, 1, pp. 108-121.

Ekdale, A.A. & Bromley, R.G., 1984: Sedimentology and Ichnology of the Cretaceous-Tertiary Boundary in Denmark: Implications for the Causes of the Terminal Cretaceous Extinction. *J. Sed. Petr.*, 54, 3, pp. 681-703.

Floris, S., 1971: Fakse Kalkbrud. *Varv Ekspeditioner nr. 2*, pp. 37-54.

Floris, S., 1980: The coral banks of the Danian of Denmark. *Acta Palaeont. Polonica*, 25, pp. 531-540.

Floris, S., 1992: Koralkbankerne i Fakes Kalkbrud. *Naturens Verden*, 1992, pp. 352-360.

Foged, N., Larsen, G., Larsen, B. & Thomsen, E., 1995: An overview on engineering geological conditions at Storebælt. Paper No: 213, 24 pp.

Folk, R.L., 1959: Practical petrographic classification of limestones. *Am. Assoc. Petr. Geol., Bull.*, 43, pp. 1-38.

Grabau, A.W., 1913: *Principles of stratigraphy.* New York, A.G. Seiler & Co., 1185 pp.

Gravesen, P., 1983: Maastrichtian/Danien-grænsen i Karlstrup Kalkgrav (Østsjælland). *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1982*, pp. 47-58.

Gravesen, P., 1993: Early Danian Species of the Echinoid Genus *Tylocidaris* (Cidaridae, Psychocidarinae) from Eastern Denmark. *Contr. Tert. Quatern. Geol.*, 30(1-2), pp. 41-73.

Hancock, J.M., 1990: Cretaceous. I: Glennie, K.W. (red.): *Introduction to the Petroleum Geology of the North Sea*, 3. edition, Blackwell Scientific Publications, pp. 255-272.

Hansen, J.M., 1977: Dinoflagellate stratigraphy and echinoid distribution in the Upper Maastrichtian and Danian deposits from Denmark. *Bull. geol. Soc. Den-*

- mark, 26, pp. 1-26.
- Hansen, J.M. & Håkansson, E., 1980:** Thistedstrukturens geologi - et 'neotektonisk' skoleeksempel. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, pp. 1-9.
- Holland, B., 1982:** Limhamn Quarry. *I: Bergström, J. et al., (red.): Guide to excursions in Scania. Sveriges geol. Unders. (Ca)54*, pp. 49-54.
- Holland, B., & Gabrielson, J., 1979:** Guide to Limhamn quarry. *I: Birkelund, T. & Bromley, R.G. (red.): Cretaceous - Tertiary boundary events. I. The Maastrichtian and Danian of Denmark.* University of Copenhagen, pp. 152-151.
- Håkansson, E., 1971:** Stevns Klint. *Varv Ekskursionsfører nr. 2*, pp. 25-36.
- Håkansson, E., & Petersen, S.S., 1992:** Geologisk Kort over den danske Undergrund. *Varv.*
- Håkansson, E., Bromley, R.G. & Perch-Nielsen, K., 1974:** Maastrichtian chalk of Northwest Europe - a pelagic shelf sediment. *I: Hsü, J. J. & Jenkyns, H. C. (red.). Pelagic sediments: on land and under the sea. Spec. Publ. Int. Sedimen., 1*, pp. 211-234.
- Ineson, J.R., 1993:** The Lower Cretaceous chalk play in the Danish Central Trough. *I: Parker, J.R. (red.): Petroleum Geology of Northwest Europe: Proceedings of the 4th Conference, Vol. 1*, pp. 175-184.
- Jensen, H.K.B., 1986:** Nedre og Mellem Danien Kalk Lithofacies i det Danske Subbassin., *Upubl. specialeopgave, Geologisk Institut, Aarhus Universitet*, 155 pp. + plancher.
- Jensen, T.F., Holm, L., Frandsen, N. & Michelsen, O., 1986:** Jurassic-Lower Cretaceous lithostratigraphic nomenclature for the Danish Central Trough. *Danm. geol. Unders., A12*, 65 pp.
- Jessen, A. & Ødum, H., 1923:** Senon og Danien ved Voxlev. *Danm. geol. Unders., 2*, 39, pp. 1-73.
- Jørgensen, N.O., 1975:** Mg/Sr distribution and diagenesis of Maastrichtian white chalk and Danian bryozoan limestone from Jylland. *Bull. geol. Soc. Denmark, 24*, pp. 299-325.
- Kemper, E. (red.), 1982:** Das Späte Apt und frühe Alb Nordwestdeutschlands. *Geol. Jb., A65*, 703 pp.
- Larsen, G., 1961:** Kvantitativ petrografisk undersøgelse af nogle sjællandske Danienskalksten. *Danm. geol. Unders., 4*, 7, 25 pp.
- Larsen, G., 1966:** Rhaetic - Jurassic - Lower Cretaceous Sediments in the Danish Embayment (A Heavy-Mineral Study). *Danm. geol. Unders., 2*, 91, 127 pp. + 17 plates.
- Liboriussen, J., Ashton, P. & Tygesen, T., 1987:** The tectonic evolution of the Fennoscandian Border Zone. *Tectonophysics, 137*, pp. 21-30.
- Michelsen, O. & Andersen, C., 1981:** Überblick über die regionale Geologie und Tektonik Dänemarks. *Zeitschrift für angewandte Geologie, 27*, pp. 171-176.
- Nielsen, E.B., 1976:** Petrographic study of Danian Limestone from eastern Denmark (Core Copenhagen TUBA 13). *Danm. geol. Unders., 2*, 106, 26 pp.
- Nielsen, E.B. & Simonsen, M., 1982:** Petrographic investigation of Danian limestone from Store Bælt, boreholes 515 and 518. *I: Larsen, G., Bauman, J. & Tychsen, J. (red.) Storebælt - Geological relations of the eastern channel. DGI-Bull., 34*, pp. 37-50.
- Nielsen K. Brännich, 1938:** Faunaen i ældre Danium ved Korporalskroen. *Meddr dansk geol. Foren., 9*, 2, pp. 117-126.
- Noe-Nygaard, N. & Surlyk, F., 1985:** Mound bedding in a sponge-rich Coniacian chalk, Bornholm, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark, 34*, pp. 237-249.
- Perch-Nielsen, K., 1979:** Calcareous nannofossil zonation at the Cretaceous/Tertiary boundary in Denmark. *I: Birkelund, T. & Bromley, R.G. (red.): Cretaceous - Tertiary boundary events. I. The Maastrichtian and Danian of Denmark.* University of Copenhagen, pp. 115-135.
- Perch-Nielsen, K., 1986:** Mesozoic calcareous nannofossils. *I: Bolli, H.M., Saunders, J.B. & Perch-Nielsen, K. (red.): Plankton Stratigraphy. Vol. 1*, Cambridge University Press, pp. 329-426.
- Rasmussen, H.W., 1967:** Skrivekridtet og kalkstene. *I: Nørrevang, A. & Meyer, T.J., (red.): Danmarks Natur, 1*, Politikens Forlag. København, pp. 131-160.
- Ravn, J.P.J., 1903:** Molluskerne i Danmarks Kridtfaulejringer. III. Stratigrafiske Undersøgelser. *Kgl. Danske Vid. Selsk. Skr., nat.-mat. Afd., XI*, 6, pp. 335-446.
- Romain, A.J., 1979:** Lineages in early Paleogene calcareous nannoplankton. *Utrecht micropaleont. Bull., 22*, 231 pp.
- Rosenkrantz, A., 1924:** Nye iagttagelser over Cerithiumkalken i Stevns Klint med Bemærkninger om Grænsen mellem Kridt og Tertiær i Danmark. *Meddr dansk geol. Foren., 6*, pp. 28-31.
- Rosenkrantz, A., 1938:** Bemærkninger om det øst-sjællandske Daniens Stratigrafi og Tektonik. *Meddr dansk geol. Foren., 9*, pp. 199-212.
- Rørdam, K., 1897:** Kridtformationen i Sjælland i Terrænet mellem København og Køge og på Saltholm. *Danm. geol. Unders., 2*, 6, 152 pp.
- Sorgenfrei, T. & Buch, A., 1964:** Deep tests in Denmark 1935-1959. *Danm. geol. Unders., 3*, 36, 146 pp.
- Stenestad, E., 1972:** Træk af det danske bassins ud-

- vikling i Øvre Kridt. *Dansk geol. Foren.*, Årsskrift for 1971, pp. 63-69.
- Stenestad, E., 1976:** Københavnsområdets geologi især baseret på citybaneundersøgelserne. *Danm. geol. Unders.*, 3, 45, 149 pp.
- Surlyk, F., 1970:** Die Stratigraphie des Maastricht von Dänemark und Norddeutschland aufgrund von Brachiopoden. *Newsl. Stratigr.*, 1(2), pp. 7-16.
- Surlyk, F., 1971:** Skrivekridtklinterne på Møn. *Varv Ekspeditionsfører nr. 2*, pp. 5-24.
- Surlyk, F., 1972:** Morphological adaptations and population structures of the Danish chalk brachiopods. (Maastrichtian, Upper Cretaceous). *Biol. Skr., Dan. Vid. Selsk.*, 19, 2, pp. 1-57.
- Surlyk, F., 1984:** The Maastrichtian stage in NW Europe and its brachiopod zonation. *Bull. geol. Soc. Denmark*, 33, pp. 217-223.
- Surlyk, F. & Birkelund, T., 1977:** An integrated stratigraphical study of fossil assemblages from the Maastrichtian White Chalk of northwestern Europe. I: Kaufman, E.G. & Hazel, J.E. (red.): *Concepts and methods in biostratigraphy*. Dowden, Hutchinson and Ross. Inc. Strudsborg. Pa., pp. 257-281.
- Surlyk, F. & Christensen, W.K., 1974:** Epifaunal Zonation on an Upper Cretaceous Rocky Coast. *Geology*, 2, pp. 529-534.
- Ter-Bork, N., 1987:** *Kort over 'Kalkoverfladens strukturer', Danmark*. Havbundsundersøgelser, Skov- og Naturstyrelsen - Dansk olie og gasproduktion A/S.
- Tappan, H., 1980:** *The Paleobiology of Plant Protists*. W.H. Freeman and Company, San Fransisco, 1028 pp.
- Thomsen, E., 1974:** Maastrichtian and Danian Facies Pattern on the Ringkøbing-Fyn High, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark*, 23, pp. 118-123.
- Thomsen, E., 1976:** Depositional environment and development of Danian bryozoan biomicrite mounds (Karleby Klint, Denmark). *Sedimentology*, 23, pp. 485-509.
- Thomsen, E., 1982:** Relations between currents and the growth of Paleocene reef-mounds. *Lethaia*, 16, pp. 165-184.
- Thomsen, E., 1987:** Lower Cretaceous calcareous nannoplankton biostratigraphy in the Danish Central Trough. *Danm. geol. Unders.*, A20, 88 pp.
- Thomsen, E., 1989:** Seasonal Variation in Boreal Early Cretaceous Calcareous Nannofossils. *Marine Micropaleontology* 15, pp. 123-152.
- Thomsen, E., 1994:** Calcareous nannofossil stratigraphy across the Danian-Selandian boundary in Denmark. *Geol. Fören. Stockh. Förh.*, 116, pp. 65-67.
- Thomsen, E. & Heilmann-Clausen, C., 1985:** The Danian - Selandian boundary at Svejstrup and remarks on the biostratigraphy of the boundary in western Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark*, 33, pp. 341-362.
- Thomsen, E. & Jensen, T.F., 1989:** Aptian to Cenomanian Stratigraphy in the Central Trough of the Danish North Sea Sector. *Geol. Jb.*, A113, pp. 337-358.
- Willumsen, M., 1993:** De danske koralbanker. *Varv*, 1993/1, pp. 12-20.
- Willumsen, M.E., 1995:** Early lithification in Danian azooxanthellate scleractinian tithoherms, Faxe Quarry, Denmark. *Beitr. Paläont.*, 20, pp. 123-131.
- Wind, J., 1953:** Kridtaflejringer i Jylland. *Flora og Fauna*, pp. 273-284.
- Wind, J., 1954:** Tylocidaris Piggene som Ledeforsteninger i vort Øvre Senon og Danien. *Meddr dansk geol. Foren.*, 12, pp. 481-490.
- Ødum, H., 1926:** Studier over Daniet i Jylland og på Fyn. *Danm. geol. Unders.*, 2, 45, 306 pp.

Tak til Søren Bo Andersen og Finn Surlyk for konstruktiv, kritisk gennemlæsning af manuskriptet.

