

Tektonik og landskabsdannelse i Midtjylland

HOLGER LYKKE-ANDERSEN, IVAN MADIRAZZA og PETER B. E. SANDERSEN



Holger Lykke-Andersen, Ivan Madirazza og Peter B. E. Sandersen: Tektonik og landskabsdannelse i Midtjylland. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 3, pp. 1–32, København, 1996–09–10.

Området i Midtjylland mellem Nr. Snede, Herning, Sr. Omme og Give er undersøgt med det formål at belyse tektoniske sider af den geologiske udviklingshistorie i Tertiær og Kvartær. Undersøgelsen er i det væsentlige baseret på et datamateriale bestående af reflektionsseismiske profiler og boringer fra olie- og gasefterforskningen, resultater fra gentagne præcisionsnivelementer og analyser af topografiske kort. De reflektionsseismiske profiler viser en lagserie, som har været udsat for deformationer senest i tiden efter Oligocæn. Deformationernes hovedtræk og tidsmæssige udvikling er forsøgt belyst ved kortlægning af stratigrafisk veldefinerede referenceflader. På grundlag af de seismiske profiler er overfladen af Danien Kalken og undersiden af de miocæne aflejringer kortlagt. Derudover er der gjort brug af tidligere udførte kortlægninger eller beskrivelser af referenceflader inden for den miocæne lagserie. Endelig er hedeslettens overflade, som den kendes fra topografiske kort, benyttet som referenceflade.

Kalkoverfladens form og formen af undersiden af de miocæne aflejringer, udbredelsen af de mellem miocæne brunkul og det marine Gram-ler fra Sen Miocæn, viser samstemmende, at der i et strøg fra Give over Brande og videre mod Herning er foregået en indsynkning i løbet af hele Tertiær. Den langstrakte lavning – Give–Herning Lavningen – som er resultatet af indsynkningen, er delvis anlagt i den østlige del af Brande Graven, som gennemskærer Ringkøbing–Fyn Ryggen i omtrent N–S retning. Give–Herning Lavningen er for det meste afgrænset af fleksurer, men en del steder er fleksuren brudt af normalforkastninger. Internt i lavningens fyld findes forkastninger, som ofte er ledsaget af folder/fleksurer. Mange af forkastningerne har karatertræk, som er typiske for sideværts forkastningszoner. Disse forkastninger er således som regel meget stejle især på niveauer under skrivekridtet. Højere oppe flader forkastningerne mere eller mindre ud. Lagene ved forkastningerne er ofte foldet. I nogle tilfælde splittes en enkelt stejl forkastning i to hovedforkastninger, som danner et opadtil divergerende par med antiklinaler i lagene mellem forkastningerne. Det er f.eks. tilfældet under Brandlund Bakkeø SV for Brande. Strukturer af denne type tolkes som dannet ved sideværts forkastning i kombination med kompressive kræfter på tværs af forkastningsplanet. Under andre bakkeøer er der fundet kompressionsstrukturer i form af "almindelige" antiklinaler. Folder i lagene med brunkul og i Gram-leret viser, at der stedvist og i en periode efter sen Miocæn er sket deformation som følge af horisontal kompression, men der er også fundet tegn på, at kompressionsbegivenheder kan have fundet sted i Kvartær, måske helt frem til perioden efter Saale-nedisingen.

Studier af højdeforholdene på hedesletten viser, at hedebladen kan opdeles i en række afsnit, som ligger i lidt forskellig højde. Med en enkelt undtagelse adskilles de forskellige afsnit af de større åløb – Brande Å, Skjern Å, Holtum Å. Højdeforskellene målt i retning vinkelret på grænserne varierer mellem nogle få meter til omkring ti meter. Højdeforskellene modsvarer, hvor gentagne nivelementer findes, af spring i de målte hævningshastigheder. Med de begrænsninger som opløseligheden i de seismiske profiler sætter, synes springene at modsvarer af strukturer i præ-Kvartæret. Den højdemæssige opdeling af hedesletten anses derfor for at være af tektonisk oprindelse.

Præcisionsnivelementerne fra 1950 og 1992 viser betydelige og systematiske variationer i hævningshastigheder i området. Særligt udtalt er dette i et profil på tværs af den østlige afgrænsning af Give–Herning Lavningen. Dette tolkes som udtryk for, at hovedforkastningen, som afgrænser Brande Graven, er aktiv i vore dage.

Flere observationer peger altså i retning af, at den tektoniske aktivitet i Tertiær er fortsat frem til i dag. Den tektoniske aktivitet er medvirkende årsag til dannelsen af en del af bakkeøerne, og den kontrollerer hedeslettens nuværende opdelte struktur, herunder lokaliseringen af vandløbene. Terrænstigningen fra hedesletten til det øst for liggende bakkeland er – i hvert fald delvis – skabt af bevægelser i hovedforkastningen i Brande Gravens østlige side. Ud over disse mere overordnede forhold peges der på en del morfologiske træk i mindre skala, som kan have baggrund i eller være påvirket af tektoniske begivenheder i Weichsel eller senere.

De tektoniske begivenheder synes at kunne indpasses i en kinematisk model, hvis hovedelement er reaktivering af gamle dextrale (præ-Zechstein) sideværts forskydninger langs nordflanken af Ringkøbing–Fyn Ryggen.

*Holger Lykke-Andersen, Geologisk Institut Aarhus Universitet, 8000 Århus C.
Ivan Madirazza, Geologisk Institut Aarhus Universitet, 8000 Århus C. Peter B.
E. Sandersen, Kemp & Lauritzen, Michael Drewsensvej 23, 8270 Højbjerg.*

1. Introduktion

I begyndelsen af 1980'erne blev der i egnen mellem Horsens, Vejle og Herning foretaget opmåling af refleksionsseismiske profiler med henblik på eftersøgning af kulbrinter i mesozoiske og palæozoiske lag i området langs nordflanken af Ringkøbing–Fyn Ryggen. Disse data blev velvilligt stillet til vores rådighed af GEUS til undervisningsmæssige formål. Under arbejdet med tolkning af profilerne ud fra sædvanlige strukturelle, stratigrafiske og bassinanalytiske synsvinkler, blev det opdaget, at der mange steder fandtes en iøjnefaldende korrelation mellem strukturer i de mesozoiske og kænozoiske lagserier og terrænets udformning. Denne iagttagelse gav anledning til, at der blev igangsat et arbejde med henblik på at forsøge at afklare, hvorvidt der kunne være tale om dannelsesmæssige sammenhænge, eller om der blot var tale om tilfældige sammenfald.

Det materiale, som har været til rådighed for dette arbejde, falder i fire forskellige kategorier: 1) refleksionsseismiske profiler, 2) gentagne præcisionsnivelementer, 3) publicerede stratigrafiske, sedimentologiske og strukturelle iagttagelser i blotninger og boringer og 4) topografiske kort. Det er resultaterne af et forsøg på en samlet bearbejdning af disse data som hermed præsenteres.

Selvom de data, som har været til vores rådighed, har givet en enestående mulighed for at belyse hidtil ukendte sider af de landskabsdannende processer, så må vi erkende, at mange spørgsmål må efterlades uafklaret. Det skyldes nok først og fremmest, at grundlaget for vores arbejde er data, som er indsamlet med helt andre formål. Disse data har egenskaber og geografiske fordelinger, som på mange punkter er uhenigtsmæssige eller utilstrækkelige, når det gælder forståelsen af landskabernes dannelse.

Arbejdet blev tilrettelagt ud fra en betragtning om, at tektoniske processer kan tænkes at have medvirket til terrænuformningen på to forskellige måder, nemlig aktivt og/eller passivt. Den aktive påvirkning kan ske ved, at terrænelementer dannes i Kvartæret, f.eks. bakkerygge som antiklinaler, dale som synklinaler og skrænter ved forkastning. Den passive påvirkning kan ytre sig ved, at terrænelementer blot afspejler ældre, dvs. prækvartære strukturer, som senere kvartære aflejnings- og erosionsprocesser ikke har formået at skjule eller udslutte, eller ved at gamle strukturer, som f.eks. forkastninger og folder i præ-Kvartæret, har styret de landskabsdannende aflejnings- og erosionsprocesser.

Dokumentation for tilstedeværelsen af en passiv sammenhæng kræver kortlægning af strukturerne i præ-Kvartæret og påvisning af en passende høj grad af geografisk sammenfald. Det kan f.eks. være, at dales forløb svarer til forkastningers forløb. Tilstedeværelsen af en aktiv sammenhæng kan derimod kun argumenteres for, såfremt det kan påvises, at veldefinerede referenceflader i Kvartæret har undergået deformationer i et mønster, som korrelerer med landskabselementerne, og som kan indpasses i et tektonisk billede for regionen.

Arbejdet har på denne baggrund omfattet tre grundlæggende dele, nemlig for det første kortlægning af strukturer og referenceflader i præ-Kvartæret, for det andet undersøgelser af deformerede referenceflader i de kvartære aflejringer, og for det tredje forsøg på at udarbejde tektonisk/kinematiske modeller for de observerede strukturer.

Kortlægning af strukturerne og referencefladerne i præ-Kvartæret er baseret på detaljerede tolkninger af de seismiske profiler med henblik dels på identifikation af de forkastninger, som berører de yngste dele af lagserien, og dels på kortlægning af udvalgte, strati-

grafisk veldefinerede horisonter i den yngste del af lagserien. Med de foreliggende seismiske profiler, har det kun været muligt at forfølge deformationer op til et stratigrafisk niveau, som ligger tæt på basis af de miocæne aflejringer i dybder på 100–200 m under det nuværende terræn. Informationer om strukturelle forhold i den resterende øverste del af de prækvartære formationer er opsøgt i den publicerede litteratur, som i det midtjydske område er særlig righoldig om den miocæne lagserie takket være brunkulsboringerne og brunkulsgravningerne (bl.a. Heller 1961; Grambo-Rasmussen 1984; Koch 1989).

Mens der i det yngste Miocæn findes veldefinerede referenceflader, så er situationen ganske anderledes i Kvartæret. Den eneste flade, der har egenskaber, som tåler sammenligning med f.eks. de marine lagflader i de miocæne aflejringer, er hedeslettens overflade. Denne flade er oprindeligt anlagt med et jævnt vestligt fald, og dens alder er nogenlunde kendt. Dele af hedeslettens overflade er derfor analyseret med henblik på at identificere eventuelle afvigelser, som kan tilskrives postsedimentære niveauforandringer.

Gentagne præcisionsnivelementer rummer mulighed for kvantitativ vurdering af eventuelle tektoniske påvirkninger af landskabsudformningen. I Brandeområdet er der fornyligt afsluttet anden runde af præcisionsnivelementer, hvis første runde overvejende blev gennemført omkring 1950. Resultaterne af disse nivelementer er velvilligt stillet til vores rådighed af Kort- og Matrikelstyrelsen, og de udgør et vigtigt led i fortolkningen af de øvrige observationer.

Vi er klar over, at arbejdet med problemstillinger og data af den art, som der her er tale om, rummer en ikke uvæsentlig risiko for, at der undervejs kan opstå problemer af ringslutningskarakter. F.eks. kan der i forbindelse med tolkningen af de seismiske profiler let opstå en tendens til at terrænet, som altid er indtegnet oven over de seismiske profiler, kommer til at påvirke tolkningen af disse, eller at terrænformerne kommer til at influere på kontureringen af de strukturkort, som skal benyttes til at undersøge, om der er korrelation mellem terrænformerne og strukturerne i undergrunden. Det sidstnævnte problem opstår især, fordi datatætheden med de foreliggende seismiske profiler er meget ringe i forhold til størrelsen af de strukturer, som forsøges kortlagt, og i forhold til den detailrigdom, som findes i de topografiske kort.

Vi har undervejs i arbejdet hele tiden haft os dette problem for øje, og vi har efter bedste evne forsøgt at minimere det, bl.a. ved at forskellige dele af arbejdet er udført i uafhængige dele af forfatterne. Vi mener derfor ikke, at problemet i nævneværdig grad har påvirket vore konklusioner.

2. Regionalgeologiske forhold

Det undersøgte områdes geografiske og kvartærgeologiske hovedtræk fremgår af Fig. 1.

Hovedtrækkene af de overordnede jordskorpestrukturer i det centrale Jylland illustreres på grundlag af Bouguer-tyngdekortet (Fig. 2). Indgående studier baseret på kombineret anvendelse af tyngdedata, magnetiske data, dybseismiske data og informationer fra dybdeboringer har ført til udarbejdelse af de hidtil bedst underbyggede modeller for jordskorpens sammensætning i det midtjydske område (Abrahamsen og Madirazza 1986; EUGENO-S Working Group 1988; Thybo og Schönharting 1991).

Et stort tyngdemaksimum, SH på kortet i Fig. 2, "Silkeborg Maksimet" (se f.eks. Abrahamsen og Madirazza 1986) har centrum omkring Silkeborg, og med sin rombeformede afgrænsning dækker maksimet en betragtelig del af kortfeltet. Tyngdemaksimet tolkes af Thybo og Schönharting (1991) som udtryk for tilstedeværelsen af et kompleks af intrusiver, som er trængt op og ud i jordskorpen i forbindelse med en begyndende riftdannelse i Sen Karbon-Tidlig Perm, altså samtidig med dannelsen af Oslo-riften. Thybo og Schönharting (1991) mener, at riftdannelsen kom i stand i forbindelse med dextrale sideværtsbevægelser koncentreret i en tidligere anlagt forkastningszone, hvis forløb nogenlunde markeres af den ØSØ-VNV forløbende sydflanke af Silkeborg Maksimet. Denne forkastningszone, som er af regionale dimensioner, kommer til udtryk i et gennemgående lineament i de aeromagnetiske kort over Danmark (Dikkers 1977; EUGENO-S Working Group 1988; Cartwright 1990). Zonen har i litteraturen været omtalt som Vinding Brudzonen (engelsk: Vinding Fracture Zone) (Dikkers 1977; Cartwright 1990) eller Samsø-Silkeborg Forkastningen (engelsk: Samsø-Silkeborg Fault) (EUGENO-S Working Group 1988). Her vil vi benytte os af den førstnævnte betegnelse.

Ringkøbing-Fyn Ryggen overskæres i omtrent N-S retning af Brande Graven (f.eks. EUGENO-S Working Group 1988; Berthelsen 1992). De afgrænsende forkastninger, som er vist i Fig. 2, er identificeret i formationerne under Zechstein aflejringerne som beskrevet af Berthelsen (1992). Denne tværgående struktur opfattes som en gravsænkning dannet ved dextrale sideværts bevægelser langs Vinding Brudzonen, muligvis ledsaget af rotation i urets retning, af de grundfjeldsblokke i Ringkøbing-Fyn Ryggen, som grænser op til gravsænkningen, nemlig Glamsbjerg Blokken mod øst og Grindsted Blokken mod vest (EUGENO-S Working Group 1988; Thybo og Schönharting 1991). Brande Graven blev genoplivet i Mesozoikum, men som beskrevet af Sorgenfrei (1966) skete der også en indsynkning i Tertiær.

Det område, vi har interesseret os for, befinder sig altså over en geologisk set meget gammel, men tilsyneladende livskraftig strukturel "korsvej", mellem den regionale Vinding Brudzone og Brande Graven. Vinding Brudzonen passerer igennem den NØ-lige og nordlige del af området, mere eller mindre parallelt med nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen, som optager den sydlige og SV-lige, mindre del af områ-

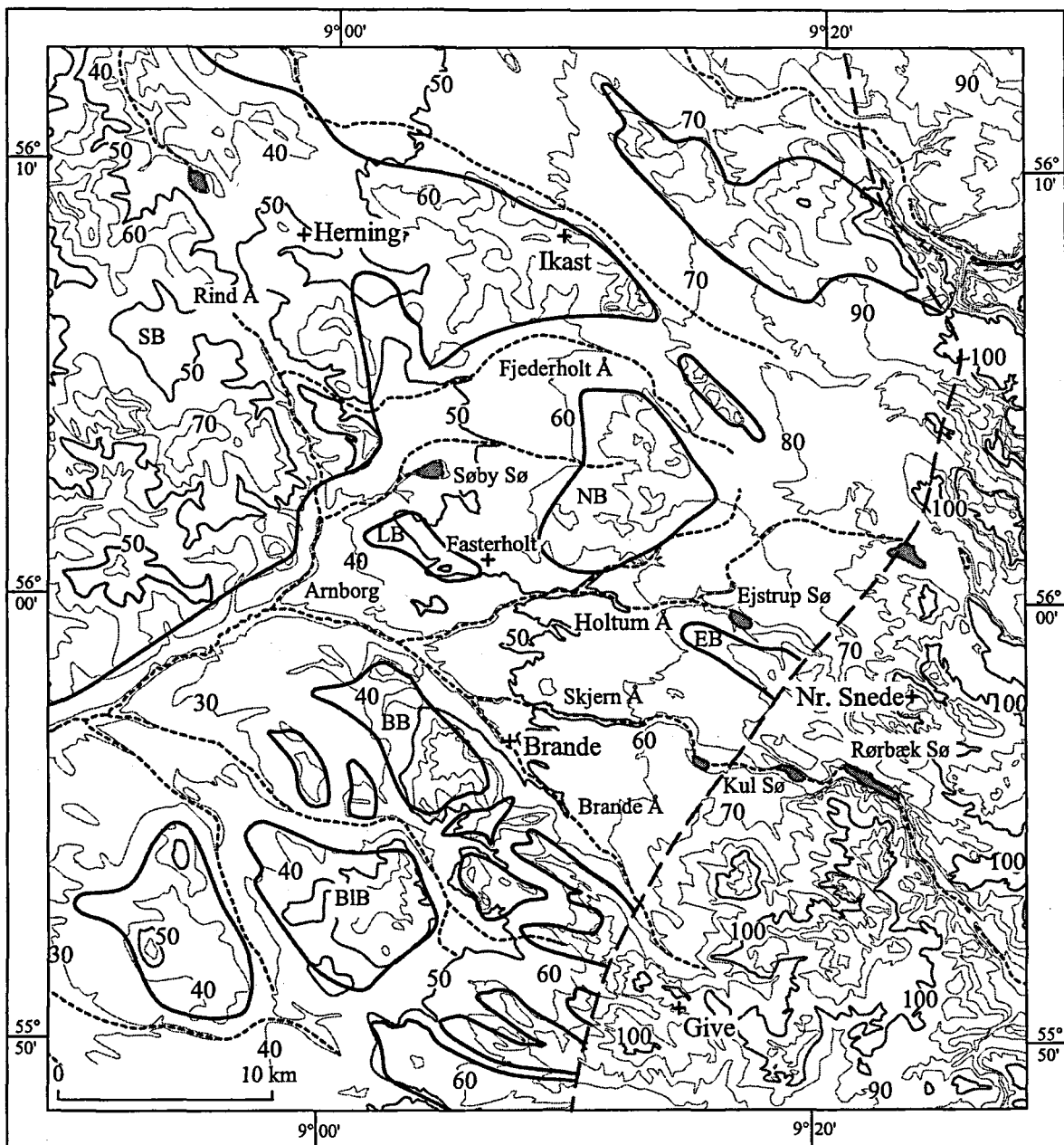


Fig. 1. Topografisk oversigtskort over Midtjylland omkring Brande. Gengivet med tilladelse © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 188-96). Ækvivalens: 10 m. Forenklet efter Kort- og Matrikelstyrelsens 1-cm kort. Fede heltrukne streger angiver afgrænsningen af de større bakkeøer: SB = Skovbjerg Bakkeø, NB = Nørlund Bakkeø, LB = Lavsbjerg Bakkeø, BB = Brandlund Bakkeø, BIB = Blåhøj Bakkeø og EB = Ejstrup Bakkeø. Den punkterede linie angiver den omtrentlige beliggenhed af hovedopholdslinien for Weichsel-isen.

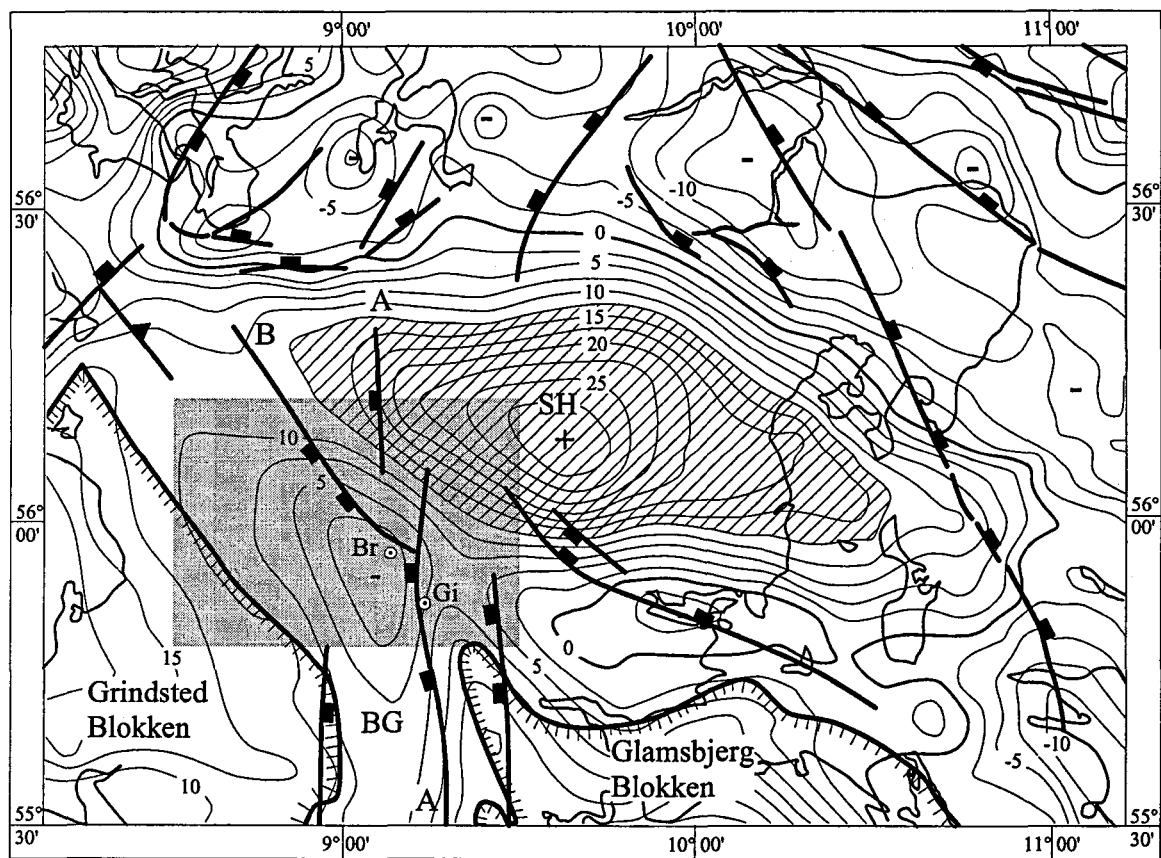


Fig. 2. Bouguer tyngdekort efter Petersen (1983). SH = Silkeborg Maksimum (skraveret), BG = Brande Graven. Forkastninger ved Basis Zechstein efter Berthelsen (1992) og Madirazza et al. (1990). De fede linier med fintandet signatur angiver Ringkøbing-Fyn Ryggens afgrænsning, som er arbitrært angivet ved forløbet af konturen for 1,5 sek refleksionstid for Basis Zechstein refleksionen (efter Vejrbæk og Britze 1994). A og B er hovedforkastninger, som omtales i teksten. Br = Brande, Gi = Give.

det. Brande Graven befinder sig under den centrale og SØ-lige del af området.

3. Undersøgelsens materiale

De seismiske data, som indgår i studiet, omfatter seismiske profiler med en samlet længde på 490 km inden for et område, som i det store og hele ligger mellem Nr. Snede, Ikast, Herning, Videbæk, Sr. Omme og Give (Fig. 3).

De seismiske profiler stammer i det væsentlige fra den seismiske undersøgelse med betegnelsen DNJ 8183D foretaget i perioden 1981–1982 af Western Geophysical. Desuden er der benyttet to profiler fra en undersøgelse fra 1979, PRKL-79, udført af Prakla-Seismos for Elsam. Linieafstanden er typisk 5–8 km. Alle profilerne er optaget med 12-fold dækning. De seismiske data er gennemgående af høj kvalitet. Tolk-

ningen er foretaget på tidsmigrerede profiler i "fuld skala", hvilket vil sige med vertikalskalaen 1 sek = 10 cm og horisontalskalaen 1 km = 2 cm. Dette svarer til en overhøjning på ca. 5 i den tertiære del af lagserien og 2–3 i de dybere dele af lagserien.

Den vertikale opløselighed skønnes i den tertiære del af lagserien at være 10–20 m. Den grundeste refleksion, som kan kortlægges, befinder sig i Tertiær ved refleksionstider på 100–250 msek, svarende til dybder på ca. 80–200 m under havniveau. De dybeste refleksioner, der her er bearbejdet, ligger stratigrafisk ved toppen af præ-Zechstein formationerne, som findes ved refleksionstider på 1,5–2,5 sekunder svarende omtrentlig til 3–5 km's dybde.

Den grundeste refleksion repræsenterer en diskordans ved overfladen af de eocæne aflejringer. Diskordansen blev kortlagt af Sorgenfrei (1966) på grundlag af kerneboringer (Fig. 3). Den hiatus, som fladen repræsenterer, omfatter ifølge Axel Nørvangs beskrivelser fra 1950–51 (GEUS' arkiv), de fleste steder hele

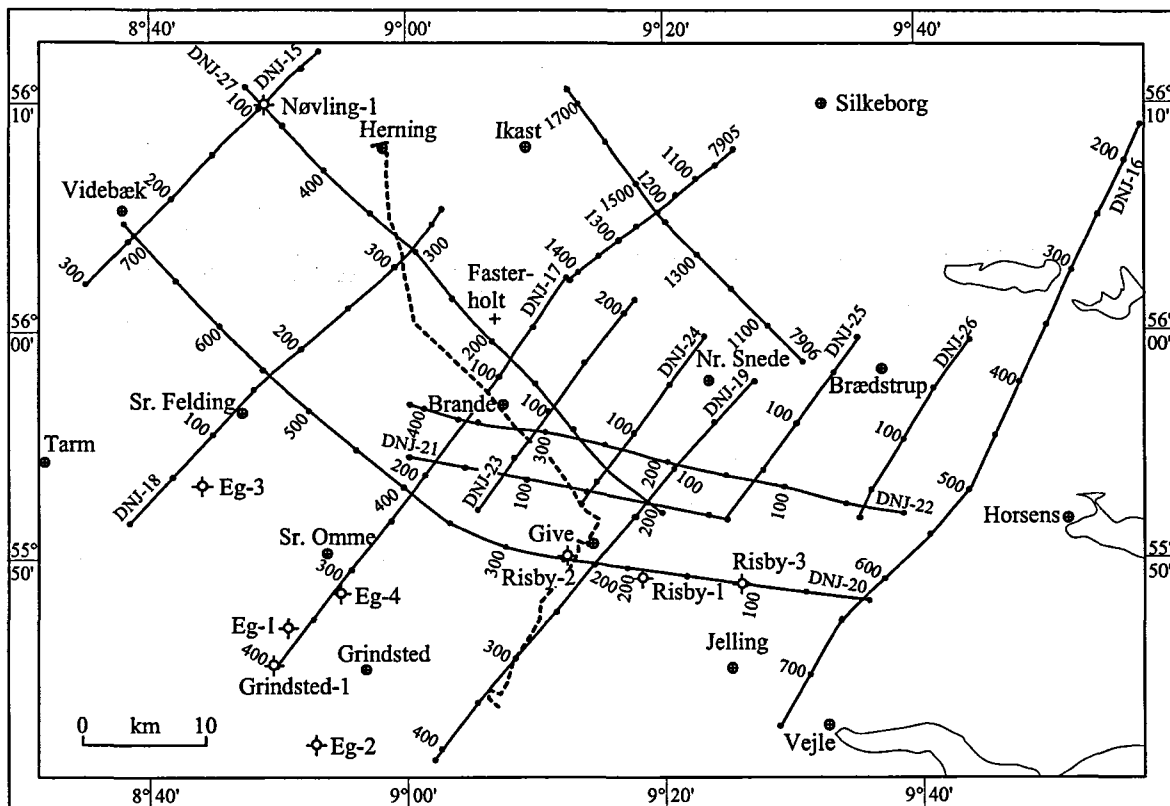


Fig. 3. Kort over borer (kerneboringer: Eg-1, 3 og 4 og Risby-1-3, dydboringer: Grindsted-1 og Nøvling-1) og refleksionsseismiske linier. Linier fra undersøgelsen DNI8183D betegnes med DNI-15 til DNI-26, og linier fra undersøgelsen PRKL-79 betegnes med 7905 og 7906. Den stiplede linie angiver tracéen for Kort- og Matrikelstyrelsens præcisionsnivelementer (1950-1992).

Oligocænet. Den dybeste refleksion, som er kortlagt repræsenterer overfladen af kalksedimenter af Danien eller Sen Kridt alder. Denne overflade blev også kortlagt af Sorgenfrei (1966).

Otte borer fra olie- og gasefterforskningen har været inddraget i arbejdet. Det drejer sig dels om dydboringerne Grindsted-1 (Sorgenfrei og Buch 1964) og Nøvling-1 (Rasmussen 1973) og dels om kerneboringerne Risby 1-3 (ved Give) samt Eg 1, 3, 4 (mellem Grindsted og Sr. Felding). Kerneboringerne er omtalt af Sorgenfrei og Buch (1964), og de blev benyttet til kortlægning af udvalgte niveauer i Tertiær af Sorgenfrei (1966). Som grundlag for nærværende arbejde er der for kerneboringerne benyttet de originale lithologiske og stratigrafiske beskrivelser, som de foreligger fra Axel Nørvangs hånd i GEUS' arkiv. Alle kerneboringerne er ført ned i Danien, eller Øvre Kridt kalkaflejringer.

Præcisionsnivelementer er udført i en tracé, som forløber fra Billund over Give og Brande til Herning (Fig. 3). I 71 punkter er nivelementer foretaget to eller flere gange. Første gang overvejende i årene 1950-51 og anden gang i 1992.

Topografiske forhold er undersøgt ved analyse af

Kort- og Matrikelstyrelsens kort i 1:25.000 (ækvidistance 2,5 m) og 1:100.000 (ækvidistance 5 m). I et vist omfang er ældre kort i 1:20.000 med en ækvidistance på 5 fod benyttet til detalstudier. Vi har især lagt vægt på topografiske analyser i hedesletteområdet nord for Brande. Grunden hertil er, at vi her mener os i stand til at fortolke observationerne ud fra den betragtning, at de dele af hedeslettens overflade, som er relativt plane og ikke sønderskåret af vandløbserosion, tilnærmelsesvis repræsenterer dele af en isokron flade, som blev færdigbygget ved Weichsel-isens retræte fra hovedopholdslinien for 17-18.000 år siden (Larsen og Kronborg 1994).

4. Tolkning af de seismiske profiler

4.1. Indledning

Undersøgelser af den mulige genetiske sammenhæng mellem undergrundens strukturer og terrænformerne er baseret på tolkning af seismiske profiler. Tolkningen kan undertiden være problematisk, idet de seismiske profilers fremtoning til en vis grad kan være

Linie 17

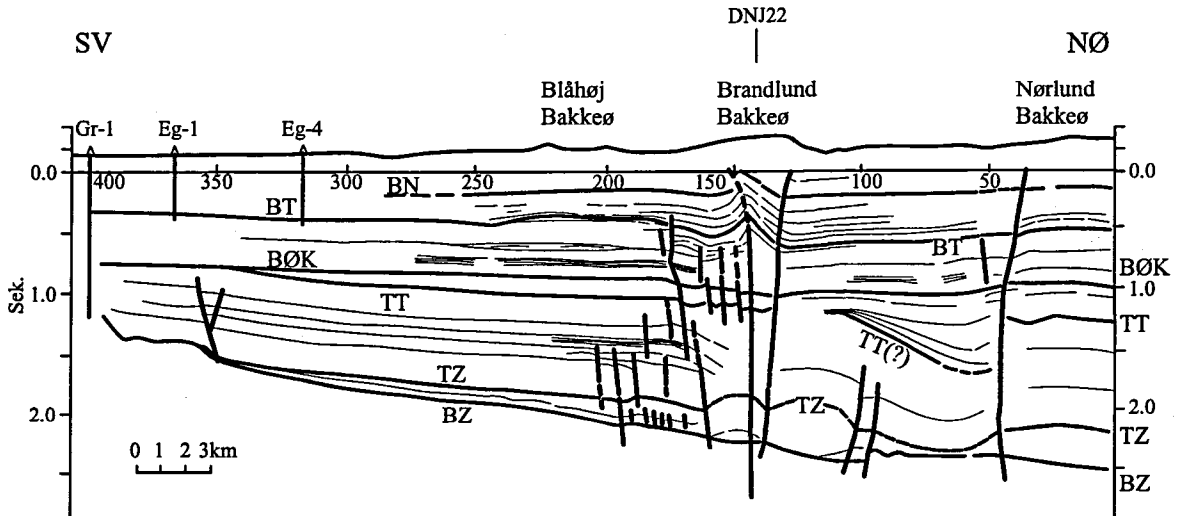


Fig. 4. Tolkning af det seismiske profil DNJ-17. BN = Basis Neogen, BT = Top kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein. Gr-1 = dybdeboringen Grindsted-1. Eg-1 og Eg-4 = kerneboringer (jf. Fig. 3).

Linie 18

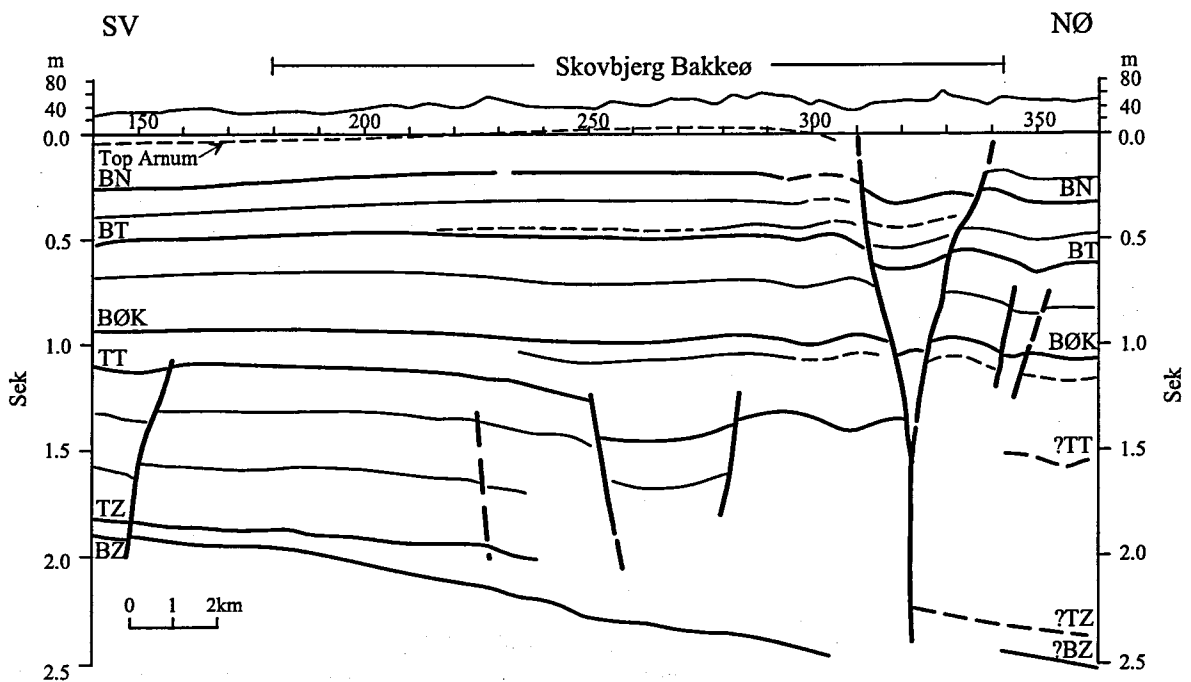


Fig. 5. Tolkning af den NØ-lige del af det seismiske profil DNJ-18. BN = Basis Neogen, BT = Top Kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein. Top Arnum-fladen er indtegnet efter Heller (1961).

afhængig af terrænets udformning. Man forsøger ganske vist at fjerne den effekt, som ledsager varierende terrænhøjder, ved at udføre såkaldt statiske korrektioner i processeringen, men disse korrektioner er ikke altid helt perfekte. Der er derfor en risiko for at forveksle årsag og virkning ved tolkningen af de seismiske data.

4.2. Beskrivelse af de tolkede profiler

Tolkningen af de seismiske profiler omfatter hele lagserien med Basis Zechstein som den dybeste refleksion. Hovedrefleksionernes stratigrafiske placering er søgt fastlagt ved korrelation med boringen Nøvling-1 (DNJ-15; SP 92 og DNJ-27; SP 473). Desuden støtter tolkningen sig på boringen Grindsted-1 (DNJ-17; SP 400). Korrelation til denne boring er dog ikke præcis, fordi der ikke findes nogen hastighedslog fra boringen. Tolkningen af profiler og udvalgte dele af profiler er vist som stregtegninger i figurene 4 til 9. Beliggenheden af de udvalgte profiler og dele af profiler fremgår af Fig. 3.

Hele lagserien, hvis bund på de seismiske profiler for det meste svarer til Basis Zechstein (eller Basis Trias på Ringkøbing-Fyn Ryggen) kan beskrives som opbygget af to stokværk, hvor Basis Øvre Kridt refleksionen udgør grænsefladen mellem disse. Det

nedre stokværk omfatter for det meste aflejringer fra perioderne (Sen)Perm (Zechstein), Trias, Jura og (Tidlig) Kridt. Stokværket er strukturelt set karakteriseret ved nogle få store normalforkastninger, som skærer Basis Zechstein-niveauet, og en mængde mindre forkastninger, som for det meste kun forsætter lagene over Zechstein. Desuden findes der nogle forkastninger, som er gennemgående fra Basis Zechstein og op i det øvre stokværk. Langt de fleste forkastninger er normalforkastninger med tilsyneladende hældninger på 40–70°. Forkastningerne er formentlig overvejende dannet ved ekstension i forbindelse med de kimmeriske tektoniske begivenheder i intervallet Sen Trias til Tidlig Kridt. I samme periode, og antagelig i sammenhæng med forkastningsaktiviteterne, er Zechstein-saltet blevet mobiliseret, og et antal mindre saltpuder er dannet med tilhørende randsynklinaler, hovedsagelig i Jura-Tidlig Kridt (se f.eks. linie DNJ-17, -22, -24; Fig. 4, 7 og 9).

Det øvre stokværk, som omfatter Øvre Kridt og Tertiær aflejringer (kvartære aflejringer ses ikke i de seismiske profiler), er kendetegnet ved en (oprindelig) meget simpel indre opbygning med omtrent parallelle lagflader. Der har ikke med sikkerhed kunnet iagttages nogen påvirkning af disse lag fra bevægelser i Zechstein-saltet. Det må altså antages, at saltbevægelser af væsentlig betydning er ophørt før Sen Kridt i dette marginale område af Det Danske Bassin.

Øvre Kridt-Tertiær lagserien er gennemsat af en række forkastninger. På trods af små vertikale forsætninger er det muligt at spore nogle af forkastningerne ned til Basis Zechstein (f.eks. linie DNJ-17, -20, -22, -24; Fig. 4, 6, 7 og 9). Disse forkastninger må derfor anses for at have rødder dybt i jordskorpen. En del forkastninger kan ikke følges helt til "grundfjeldet", og nogle påvirker tilsyneladende kun Øvre Kridt-Tertiær lagene. Dette er dog muligvis kun tilsyneladende, idet forkastningernes forsvinden med dybden eventuelt kan hænge sammen med, at de vertikale forsætninger er så små, at de med dybden kommer under de seismiske profilers opløselighedsgrænsen.

De gennemgående forkastninger har en række bemærkelsesværdige karaktertræk. Det første består i, at de som regel er meget stejle, næsten lodrette, i det nedre stokværk. Det andet er, at de i regelen optræder parvis, idet de så danner opad divergerende forkastningssæt (f.eks. DNJ-17, -18, -22, -24; Fig. 4, 5, 7 og 9). I nogle tilfælde kan de nedre dele falde sammen til en forkastning (f.eks. DNJ-18 og -22; Fig. 5 og 7). Forkastningerne udspringer enten fra store normalforkastninger (Fig. 5, 6 og 9) eller fra ubetydelige forsætninger ved Basis Zechstein (Fig. 4 og 7). Nogle af disse opad divergerende forkastningssystemer kan sammenlignes med strukturer, som i den engelske litteratur betegnes "flower structures", og som anses for et karakteristisk element i områder påvirket af sideværts forkastninger ledsaget af tværgående kompression (f.eks. Christie-Blick og Biddle 1985; Woodcock og Schubert 1994). Vi har valgt på dansk at omtale

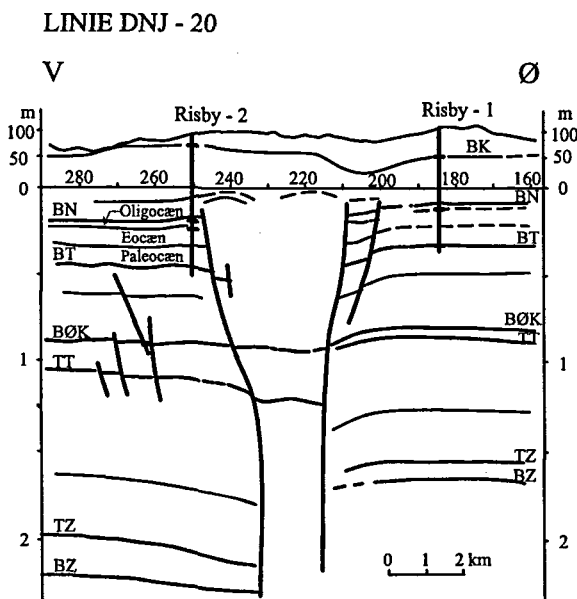


Fig. 6. Tolkning af en del af det seismiske profil DNJ-20 i nærheden af Give. BK = Basis Kvartær delvis efter Binzer og Stockmarr (1985), BN = Basis Neogen, BT = Top Kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein. Tværstreger i boreprofilerne Risby-1 og 2 angiver omtrentlige beliggenheder af de vigtigste stratigrafiske grænser (som angivet på tolkningen af det seismiske profil).

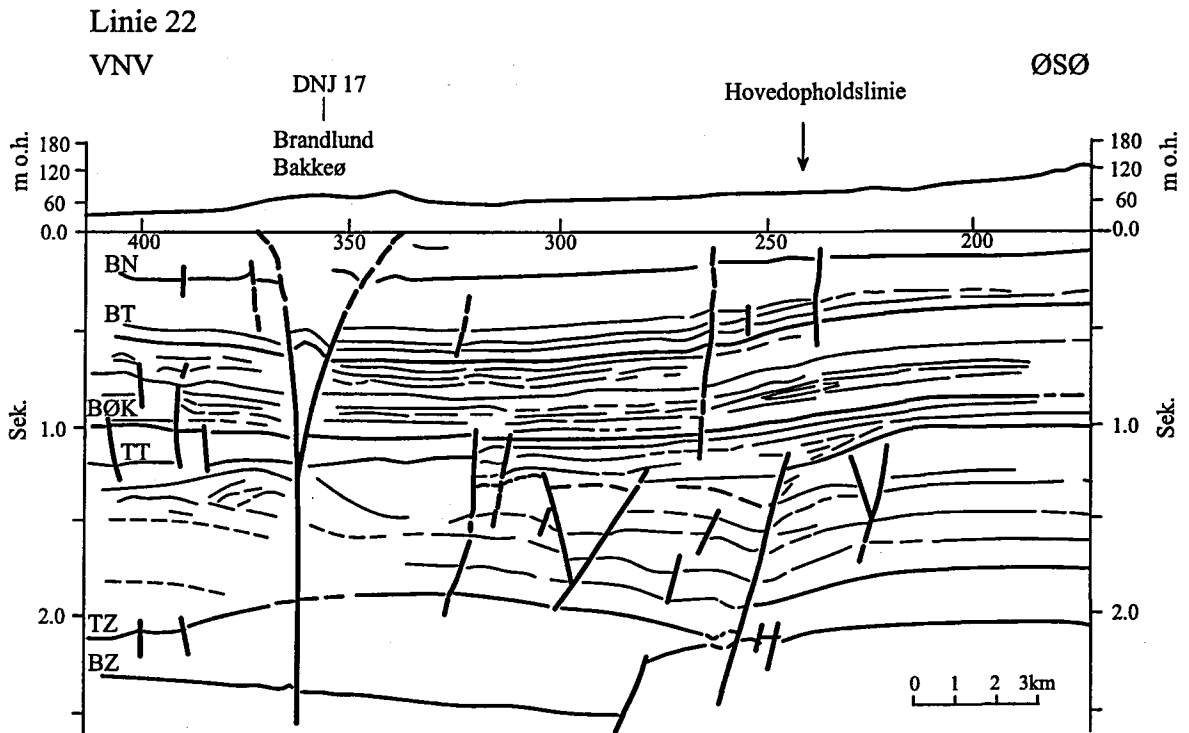


Fig. 7. Tolkning af den østlige halvdel af det seismiske profil DNI-22. BN = Basis Neogen, BT = Top Kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein.

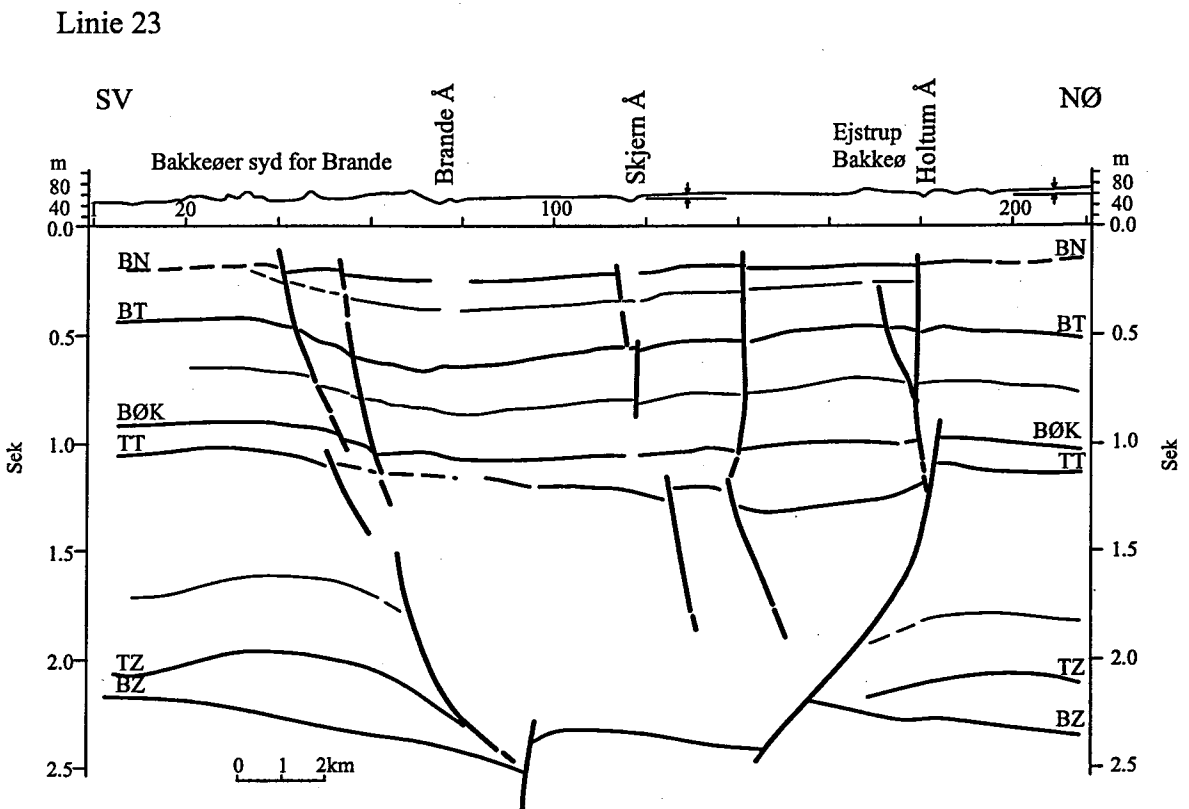


Fig. 8. Tolkning af det seismiske profil DNI-23. BN = Basis Neogen, BT = Top Kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein. Vandrette linier med vertikale pile angiver højdeforskelle mellem hedeslettens forskellige afsnit.

Linie 24

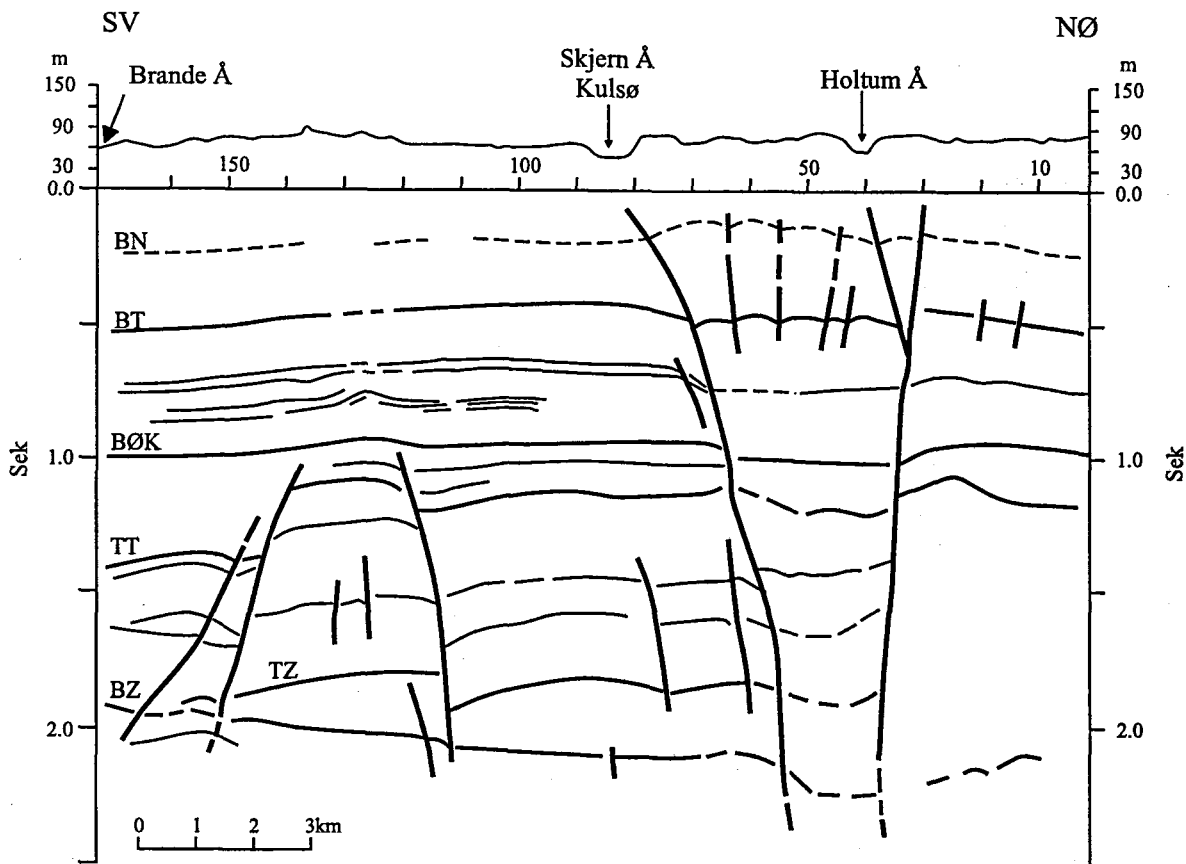


Fig. 9. Tolkning af det seismiske profil DNJ-24. BN = Basis Neogen, BT = Top Kalk (Danien Kalk), BØK = Basis Øvre Kridt, TT = Top Trias, TZ = Top Zechstein, BZ = Basis Zechstein.

disse strukturer som trompetstrukturer med henvisning til strukturernes opad divergerende form. Det tredje karaktertræk vedrører forsætningerne langs forcastningerne. De vertikale forsætninger er som regel små og usystematiske op langs forcastningsplanet både mht. forskydnings retning og størrelse (f.eks. DNJ-24; Fig. 9).

Alt dette viser, at den seneste tektoniske aktivitet, som kan aflæses i de seismiske profiler, har været domineret af overvejende sideværts forcastninger.

Stregtegningerne illustrerer, at der i næsten alle tilfælde findes karakteristiske terrænuformninger over trompetstrukturerne. Dette er specielt iøjnefaldende på profilerne DNJ-17 og -22 (Fig. 4 og 7), hvor terrænet inde over trompetstrukturen SV for Brande, hæver sig ca. 25 m over omgivelsernes terræn. Profilerne DNJ-20 og -24 (Fig. 6 og 9) er knap så entydige, dog findes der i begge profiler tegn på hævnning i terrænet inden for forcastningerne. I profil DNJ-24 bemærkes det, at Skjern Å-dalen og Holtum Å-dalen er lokaliseret temmelig præcist over hver sin afgrænsningsforcastning.

4.3. Top (Danien-)kalk

Kalkens overfladetopografi blev skitseret af Sorgenfrei (1966) på grundlag af borerer syd for og i den sydlige del af det her omhandlede område. Ifølge borererne forekommer Danienkalk i det meste af det kortlagte område. Kun i boreren Eg-1 mangler Danien. Kort over kalkoverfladen vil altså i det midtjyske område stort set betyde kort over Danienkalkens overflade.

Ter-Borch (1987) udarbejdede et landsdækkende konturkort for kalkens overflade i målestoksforholdet 1:500.000. Kortet, som er baseret på alle tilgængelige data, inklusive de data, som har været til rådighed for os, giver et godt indblik i kalkoverfladens regionale strukturer. Kortet viser, at der i kalkoverfladen er udviklet en række langstrakte lavninger i et VNV-ØSØ-gående bælte fra egnen mellem Nissum Fjord og Nissum Bredning over Horsens Fjord til Store Bælt (Fig. 10). De individuelle lavninger er typisk 5–10 km brede og 20–30 km lange. Lavningernes længdeakser er med en enkelt undtagelse stort set parallelle med nord-

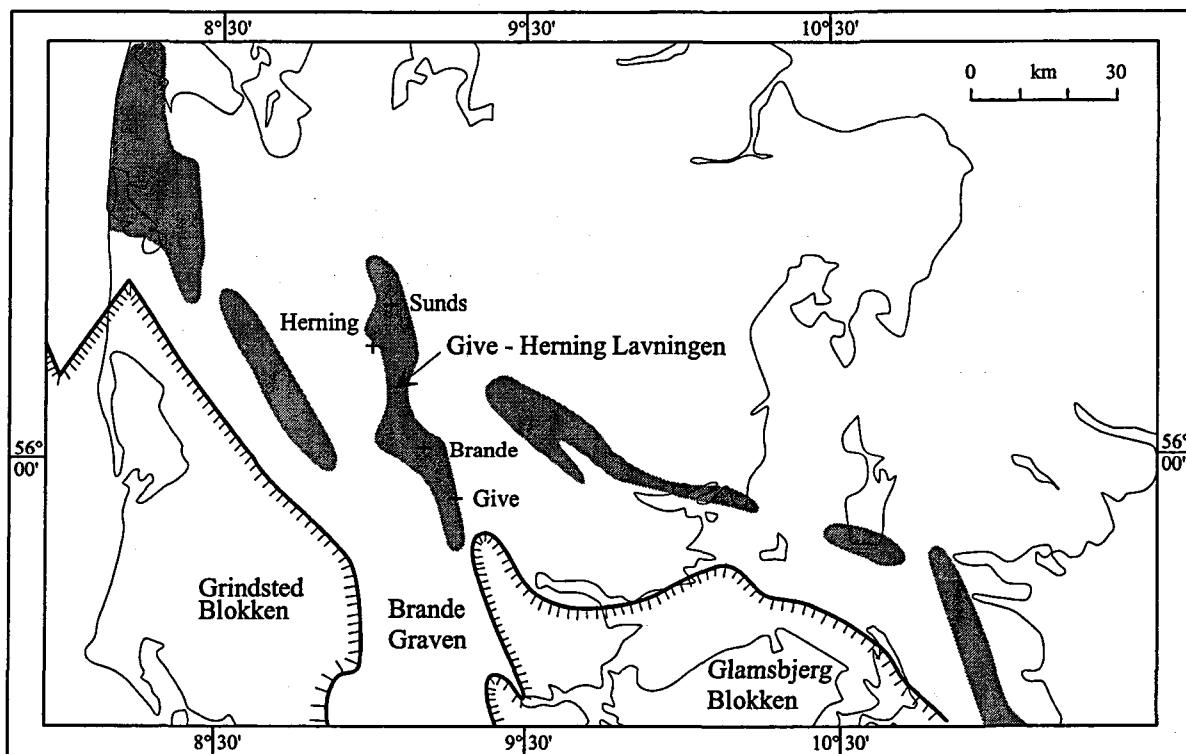


Fig. 10. Lavninger (strukturelle depressioner) (gråtone) i kalkoverfladen efter Ter-Borch (1987). Streger med fin tand-signatur angiver afgrænsningen af Ringkøbing-Fyn Ryggen (sml. Fig. 2).

flanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen, som den kommer frem i strukturkonturkort over Basis Zechstein (Vejbæk og Britze 1994).

Lavningen, som danner undtagelsen, forløber omtrent i N-S-retning fra Sunds (ca. 10 km nord for Herning) forbi Herning og Brande og videre til Give. Lavningen vil i det følgende blive omtalt som "Give-Herning Lavningen". Den har et slingrende forløb, idet den er sammensat af to omtrent N-S-løbende grene længst mod nord og syd, og en mellemliggende VNV-ØSØ løbende gren, hvor lavningen passerer forbi Brande.

Flere af lavningerne er afgrænset af normalforkastninger, og de antages at være dannet som følge af ekstension. Lavningerne repræsenterer altså strukturelle depressioner. Udformningen af de nordligste dele af nogle lavninger er påvirket af saltstrukturer. Den zone, hvori lavningerne befinder sig langs nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen, er den tidligere omtalte Vinding Brudzone (Dikkers 1977; EUGENO-S Working Group 1988; Cartwright 1990). EUGENO-S Working Group (1988) mener, at der kan være belæg for at tro, at forkastningerne, som blev anlagt i præ-Zechstein tid, kan være genoplivet i perioder helt frem til Kænozoikum.

I det foreliggende arbejde har vi især koncentreret os om forholdene i de sydlige dele af Give-Herning

Lavningen. På grundlag af alle de foreliggende data er der fremstillet et strukturkonturkort for overfladen af (Danien)-kalken med ækvidistancen 25 m (Fig. 11). Dybdekonverteringen af de seismiske refleksionstider er beskrevet i Appendiks. Som det ses af kortet, løber den sydlige gren af Give-Herning Lavningen næsten stik N-S. Denne sydlige gren er herefter omtalt som "Give Lavningen". Den kan følges over en strækning på ca. 10 km. Lavningen er næsten symmetrisk og afgrænset af forholdsvis bratte sider, som er accentueret af parallelle rækker af normalforkastninger. Lavningen er stort set anlagt over den normalforkastning ved Basis Zechstein, som definerer den østlige afgrænsning af Brande Graven (Fig. 11). Omtrent midtvejs mellem Give og Brande munder Give Lavningen ud i "Brande Lavningen", hvis akse har retningen VNV-ØSØ omtrent parallelt med en forkastning ved Basis Zechstein (Fig. 11). Brande Lavningen er henvend 100 m dybere end Give Lavningen. Samtidig er den bredere, ca. 8 km mod Give Lavningens ca. 4 km.

Brande Lavningen er stærkt asymmetrisk med den stejleste side mod syd. Forkastninger er kun iagttaget i den stejle sydside. Cirka fire kilometer vest for Brande er kalkoverfladen lokalt relativt stærkt foldet og forkastet. Denne struktur, som kan ses på de to krydsende profiler DNJ-17 og -22 (Fig. 4 og 7), tolkes som

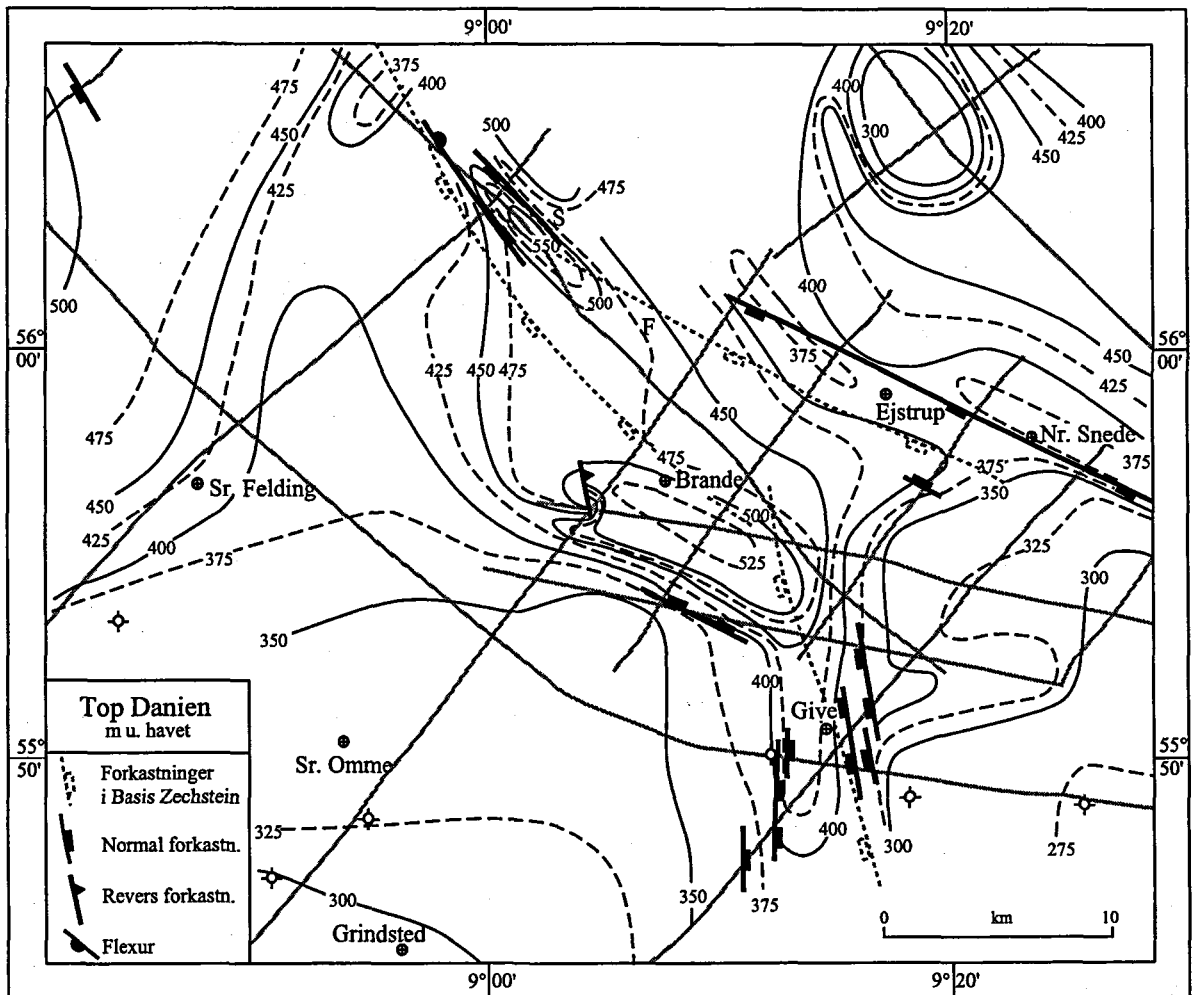


Fig. 11. Strukturkonturkort over (Danien-) kalkoverfladen. Ækvidistance: 25 m. Tegnet på grundlag af dybdekonverterede seismiske refleksionstider. Dybdekonvertering: se Appendiks 2. De seismiske linier er angivet med grå streger. Boringernes beliggenhed er angivet i hht. Fig. 3. S = Søby, F = Fæsterholt.

en snæver antyklinal med revers forkastning i den vestvendte flanke (DNJ-22: Fig. 7). Forkastningens retning er angivet til at være SSØ-NNV, men den er ikke særlig godt bestemt, fordi forkastningen findes meget tæt på skæringen mellem de to profiler. Strukturen findes i nærheden af Brandlund, som ligger på bakkeøen SV for Brande, og den vil derfor i det følgende blive omtalt som "Brandlund-strukturen". Brandlund-strukturen er lokaliseret nær ved det sydvestlige hjørne af Brande Lavningen, som vest for Brande overgår i den nordlige gren af Givø-Herning Lavningen. Denne gren løber i nordlig retning med akse direkte mod brunkul-sområdet ved Søby-Fæsterholt. Afgrænsning og indre struktur af denne "Søby-Fæsterholt Lavning" kan ikke beskrives særlig præcist med de foreliggende data. Umiddelbart vest for Søby-Fæsterholt-området, hvor de to profiler DNJ-18 og -27 krydser hinanden i kanten af Skovbjerg Bakkeø ved Rind Å og Fjederholt

Å, får man et nogenlunde detaljeret indblik i kalkoverfladens struktur. Her findes normalforkastninger, som afgrænser en lille gravsænkning med SØ-NV-lig strygning. I forbindelse med forkastningerne ses folder i kalkoverfladen.

4.4. Basis Neogen

Som det fremgår af Axel Nørvangs undersøgelser af kerneboringerne Risby 1-3 og Eg 1,2,4, samt af dybdeboringen Grindsted-1 (Sorgenfrei og Buch 1964), savnes aflejringer fra Oligocæn undtagen inden for Brande Graven, hvor der ved Givø er rapporteret om relativt tynde aflejringer af Oligocæn alder (Fig. 12). Alle andre steder er det fundet, at miocæne aflejringer hviler direkte på eocæne aflejringer.

Den hiatus, som således findes i det meste af områ-

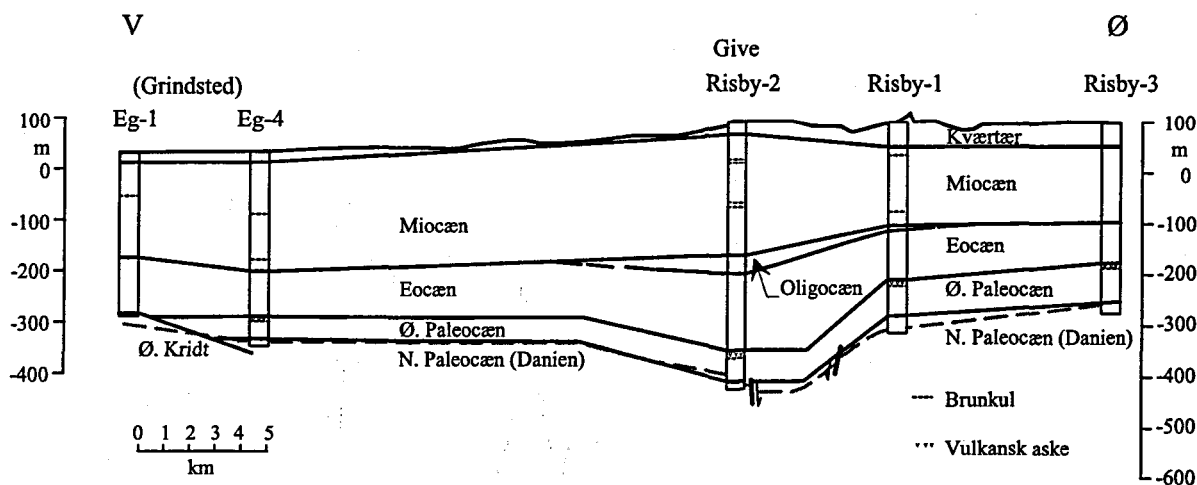


Fig. 12. Profil gennem kerneboringerne mellem Give og Sr. Omme (for beliggenhed jf. Fig. 3). Den stratigrafiske inddeling og de lithologiske angivelser i hht. Axel Nørvangs rapporter fra 1950 og 1951 i GEUS' arkiv. Beliggenhed af Top Kalk-reflektoren er markeret med punkteret gråtonet linie.

det, afspejles i en forholdsvis veldefineret refleksion i de seismiske profiler. Den pågældende refleksion er den grundeste, der kan følges som en nogenlunde sammenhængende flade, som kan danne grundlag for kortlægning (Fig. 13). (Vedrørende dybdekonvertering af refleksionstiderne henvises til Appendiks). Oligocæn-intervallet er for det meste så tyndt, at der ikke i de seismiske profiler er gjort forsøg på at skelne top og bund. Ved tolkningen er det valgt at følge den øverste del af den seismiske signatur, som repræsenterer overgangen Eocæn-(Oligocæn)-Miocæn. Den refleksion, som er kortlagt, formodes derfor tilnærmelsesvis at være udtryk for basis af de miocæne aflejringer. Den kortlagte flade betegnes "Basis Neogen".

Basis Neogen-fladen er især præget af to gennemgående topografiske elementer, nemlig en 5-10 km bred lavning med et slingrende forløb fra Give over Brande og op mod Søby-Fasterholt-området, og en 5-10 km bred ryg, som løber vest for lavningen. Som det fremgår af Fig. 13, er de sydlige dele af lavningen stort set anlagt over de nedforkastede sider af hovedforkastningerne i Basis Zechstein. Flanken mellem ryggen og lavningen vest for Søby-Fasterholt-området er anlagt over den opforkastede side af den forkastning ved Basis Zechstein, som fra Brande løber i NV-lig retning. Ryggen synes at være bedst udviklet i området vest for Søby-Fasterholt. Den er asymmetrisk i tværsnit med den stejleste side mod NØ. I kalkoverfladen (Fig. 11) har ryggen tilsyneladende kun en modpart i den NØ-lige del af området.

Lavnings forløb afspejler med få afvigelser lavningen i kalkoverfladen (sml. Fig. 11). Normalforkastninger med forsætninger af størrelser på 10-40 m findes stedvis især i lavningens flanker ved Give, Brande og vest for Søby-Fasterholt-området. I lavningen er Basis Neogen-fladen lokalt svagt foldet. Det gælder især i forbindelse med Brandlund-strukturen SV for

Brande, men svage spor af foldninger findes også ved Give (DNJ-20; Fig. 6), hvor dokumentationen for den på kortet angivne N-S retning dog er meget svag. Uden for lavningen optræder normalforkastninger i et NV-SØ strøg mellem Nr. Snede og Søby-Fasterholt-området. Desuden er der iagttaget svage folder i den kortlagte flade i området SV for Nr. Snede.

4.5. Neogenets tykkelse

Tykkelsen af de neogene aflejringer (Fig. 14) er beregnet ved at trække koterne for Basis Neogen-fladen fra koterne for Basis Kvartær-fladen, som den er kortlagt af Binzer og Stockmarr (1985), eller - uden for dette kortområde - som den fremgår af de geologiske basisdatakort. Basis Kvartær-fladen er givetvis erosionsbetinget. Det kommer mest udpræget til udtryk i dybe erosionsrender, som lokalt skærer sig ekstraordinært 50 m eller mere ned i den miocæne lagserie (jf. afsnit 6, Fig. 17). Selvom der ved korttegningen er set bort fra disse erosionsrender, så er de beregnede tykkelser givetvis mindre end de oprindelige. Det fremgår af kortet, at tykkelserne inden for lavningen er ca. 50 m større end uden for lavningen. Det antages at fortykkelsen på ca. 50 m beror på indsynkning i løbet af Miocæn.

5. Strukturer i den miocæne lagserie

5.1. Arnum Formationen

Med brunkulsundersøgelserne i 1920'erne og 1940'erne og omkring 1960 blev der udført et meget stort antal borer, som har givet værdifuld indsigt i de

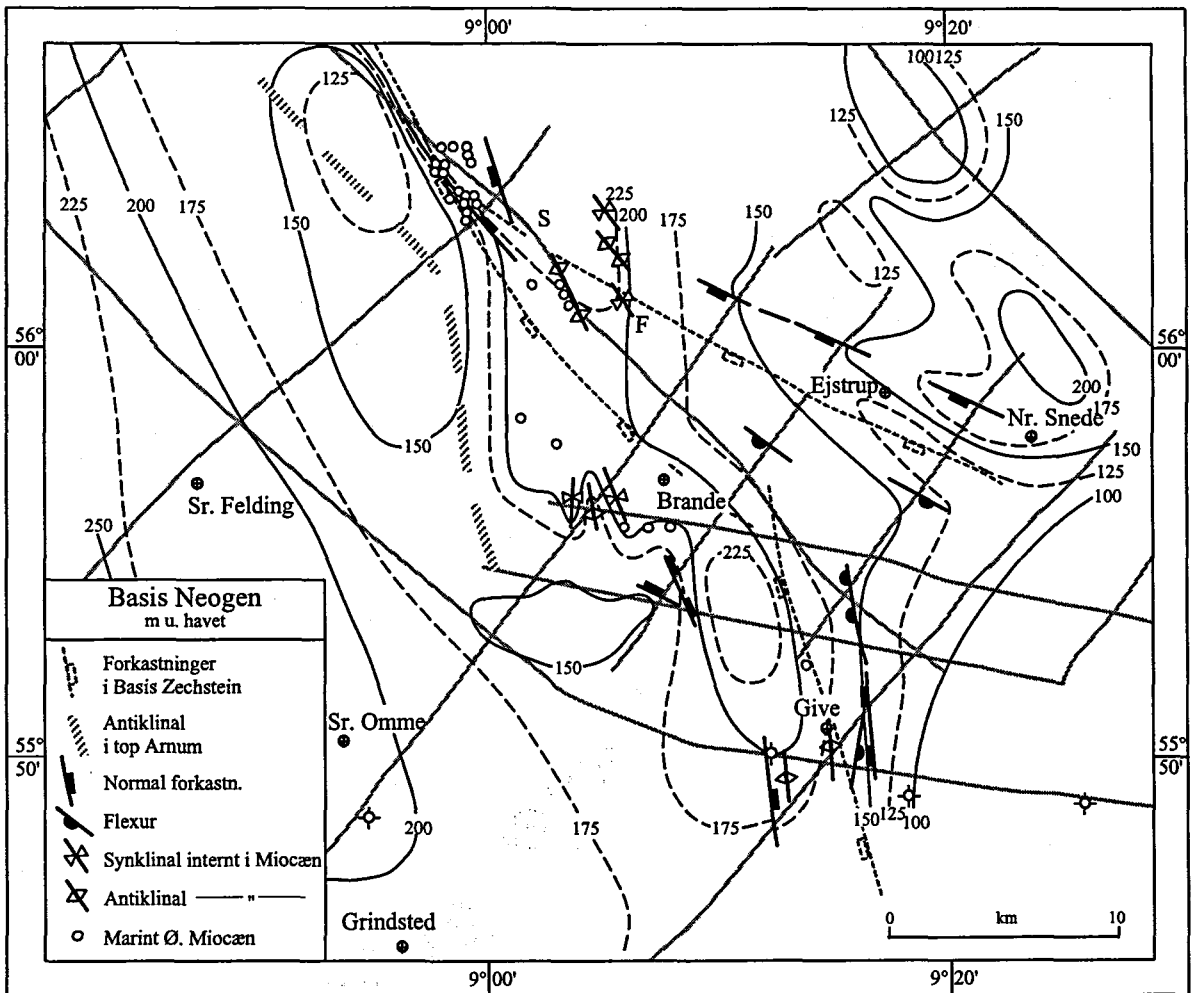


Fig. 13. Strukturkonturkort over Basis Neogen-fladen. Åbne, små cirkler angiver forekomster af øvre miocænt Gram-ler. De åbne signaturer for syn- og antiklinaler angiver strukturer, som forekommer internt i den miocæne lagserie. Strukturerne i Søby-Fasterholt-området er angivet efter Koch (1989). Iøvrigt er strukturerne indtegnet efter tolkning af de seismiske profiler. Med tyk, tværstribet og punkteret linie angives kulminationen af en antiklinal i overfladen af den mellem miocæne Arnum Formation (efter Heller 1961). S = Søby, F = Fasterholt.

mellem miocæne brunkulsforekomsters geologiske forhold (Heller 1961; Grambo-Rasmussen 1984). Heller (1961) publicerede et strukturkonturkort for grænsefladen, som adskiller den marine mellem miocæne Arnum Formation fra den limnisk mellem miocæne Odderup Formation (= den øvre brunkulsførende formation). Kortet, som var udarbejdet af K. Milthers, viser en flade, som danner en bred og mod nord asymmetrisk ryg, som med et lidt slingrende forløb spores fra egnen mellem Sr. Omme og Brande mod NNV til et område SV for Herning. Idet det antages, at overfladen af de marine Arnum-lag oprindeligt har ligget tilnærmelsesvis vandret, slutes det, at "lagene har været udsat for en bevægelse i eller efter brunkulsperioden." (Heller 1961). Tilsvarende fandt forfatter-

ne: "at der var foregået en betydelig sænkning af landet omkring Søbyområdet." (Heller 1961).

Det seismiske profil DNJ-18, som krydser ryggen under en næsten ret vinkel (jf. Fig. 3 og 13), viser, at den antiklinal i Basis Neogen-refleksionen, som ses på kortet i Fig. 13, stort set er konkordant med K. Milthers og Hellers Top Arnum-flade (Fig. 15). Dette understøtter forestillingen om, at antiklinalen er tektonisk betinget. Antiklinalen i Top Arnum-fladen afsluttes mod NØ af en fleksur, hvor fladen bøjer ned i NØ-lig retning. Flexuren ser ud til at være knyttet til en forkastning langs hvilken Basis Neogen-fladen er bøjet og nedforkastet knap 100 m mod NØ. Ligesom Top Arnum-fladen er Basis Neogen-fladen nedbøjet mod forkastningen.

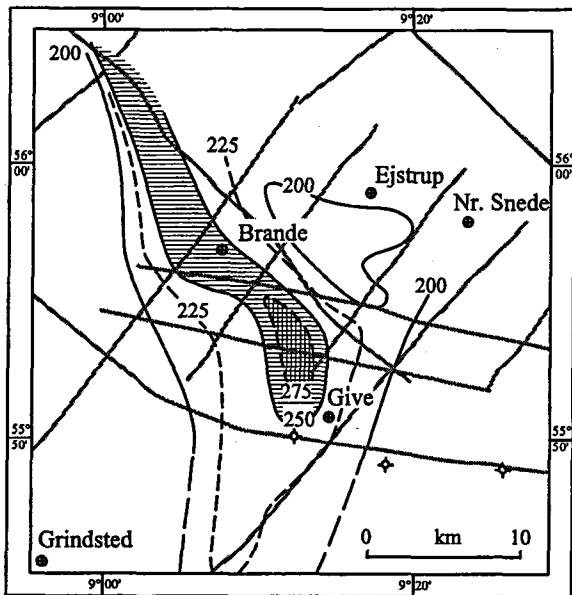


Fig. 14. Kort over de neogene aflejrings tykkelse. Aekvidistance 25 m.

5.2. Brunkullenes udbredelse

På grundlag af brunkulsundersøgelsernes righoldige materiale af borer, udarbejdede Grambo-Rasmussen (1984) et detaljeret kort over Odderup Formationens brunkulsforekomsters udbredelse og tykkelse i Midtjylland. De største og mest sammenhængende forekomster optræder i et strøg mellem Giv, Brande og Herning. Afgrænsningen af forekomsterne er indtegnet i Fig. 16. Udover de forekomster, som angives af Grambo-Rasmussen (1984), indeholder kortet også i Giv-Brande-området forekomster, som har kunnet afgrænses vha. andre borer end brunkulsborin-

gerne. Det fremgår med tydelighed af kortet, at brunkullene i Giv-Brande-Herning-området er koncentreret inden for Giv-Herning Lavningen, som den kommer til udtryk i Basis Neogen-fladen. Placeringen af de bassiner, hvori brunkullene er aflejret, er altså uden tvivl betinget af den tektoniske indsynkning af Giv-Herning Lavningen.

5.3. Brunkulsgravene i Søby-Fasterholt-området

Den største og mest sammenhængende af brunkulsforekomsterne, nemlig den i Søby-Fasterholt-området nord for Brande, er indgående studeret og beskrevet af Koch (1989). I Koch's undersøgelse af den mellem miocæne Odderup Formations brunkulsførende aflejringer ligger hovedvægten på de palæontologiske aspekter, men undersøgelsen indeholder desuden meget værdifulde sedimentologiske og strukturgeologiske observationer, som også omfatter de overliggende marine lag af mellem miocænt Hodde-ler og øvre miocænt Gram-ler. Koch finder deformationer i form af folder og forkastninger i de miocæne lag, hvorimod han ikke har observeret tektoniske deformationer i de kvartære lag, som overvejende udgøres af hedeslettesand fra Weichsel-isens afsmeltning.

Folderne i de miocæne lag er beskrevet ved at kombinere observationer fra borer med detaljerede iagttagelser fra brunkulsgravene. Det billede, som herved fremkommer, viser at brunkulsserien er foldet i et system af åbne syn- og antiklinaler i flere skalaer. De største bølglængder og amplituder angives til hhv. ca. 3 km og 15-20 m. De mindste til ca. 100 m og 5 m. Alle iagttagne folder har den samme SSØ-NNV-lige akseretning. Akseretningerne for de største folder er indtegnet på kortet i Fig. 13. Små-skala folderne har kunnet beskrives i tre dimensioner ud fra detaljerede observationer over lang tids brunkulsgravning. Det har da vist sig, at små-skala folderne er akseparallelle og sideværts forskudt

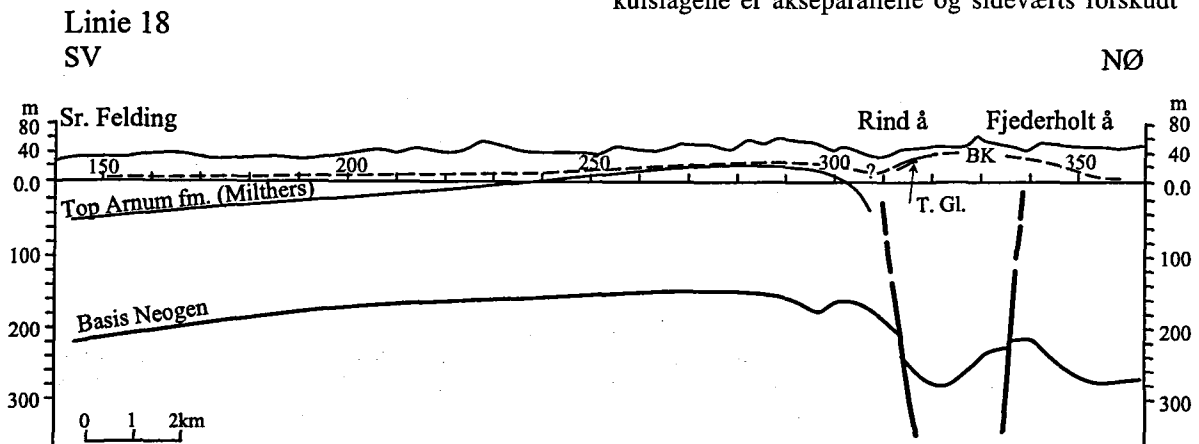


Fig. 15. Dybdekonverteret udsnit af det seismiske profil DNI-18. Top Arnum Formationen efter Heller (1961). T.Gl. = Top af glaukonitisk ler i den nedre del af øvre miocænt Gram-ler (efter Rasmussen 1966), BK = Basis Kvartær.

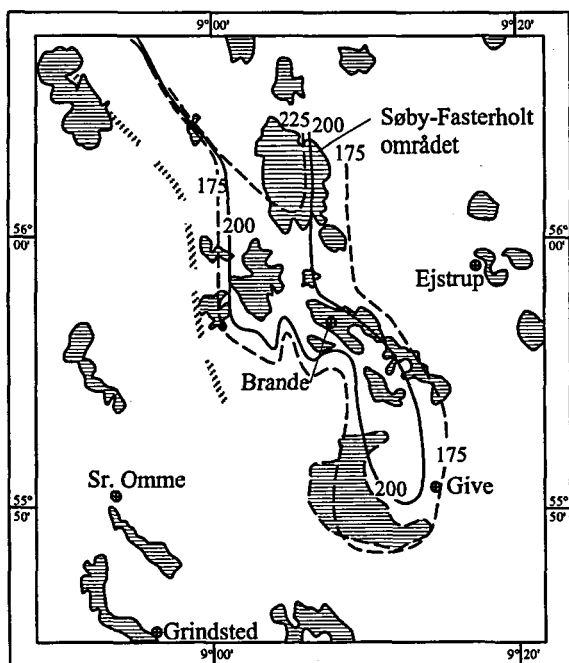


Fig. 16. Forekomster af brunkul (Odderup Formationen, Mellem Miocæn) vandret skraveret. Områder med heltrukket omrids er tegnet efter boreriger fra brunkulundersøgelserne (Grambo-Rasmussen 1984). Området med stiptet omrids vest for Givø er tegnet på grundlag af andre boreriger. Konturer angiver lavningen i Basis Neogen-fladen (jf. Fig. 13). Tyk, tværstribet og punkteret linie angiver kulmination af en antiklinal i overfladen af den mellem miocæne Arnum Formation (efter Heller 1961).

muligvis i et en échelon-mønster. Det samme synes at være tilfældet for folderne i den store skala (jf. Fig. 13).

Lagene i brunkulgravene er gennemsat af både normale og reverse forkastninger. Reverse forkastninger med vertikalforsætninger på nogle decimeter og med forkastningsplanet strygende i SØ-NV-lig retning er iagttaget i flankerne af nogle af små-skala folderne. Normalforkastninger med vertikale forsætninger i meter-størrelsen er beskrevet fra flere gravefronter. At dømme ud fra beskrivelserne optræder i alt fald nogle normalforkastninger med NØ-SV-lig strygning, dvs. stort set vinkelret på foldeaksernes retninger.

Mht. årsagerne til de observerede deformationer i de miocæne aflejringer hælder Koch (1989) til den anskuelse, at det drejer sig om egentlig tektonisk deformation, fremkaldt af kompression. Om tidspunktet for deformationerne slutter Koch (1989), at det falder i intervallet mellem afslutningen af aflejringer af Gram-leret i Sen Miocæn og Weichsel-nedisningen.

Den vestlige og SV-lige del af brunkulområdet breder sig ind over den lille Lavsbjerg Bakkeø (jf. Fig. 1). Bakkeøen hæver sig for det meste kun 10–15 m

over den omgivende hedeslette. Den interne struktur i bakkeøen er godt belyst ved Koch's undersøgelser, som viser, at bakkeøen rummer det brunkulsførende sand overlejret af Hodde-ler og Gram-ler, som er dækket af et par tynde lag af flyvesand. Hele den miocæne lagserie danner en antiklinalstruktur, som synes at være omtrent konform med bakkeøens overflade. Lavsbjerg Bakkeø tolkes derfor af Koch (1989) som et tektonisk fænomen. Den miocæne kerne i antiklinalen har været udsat for erosion på forskellig måde. I flankerne er de marine lag borteroderet, således at hedeslettesandet pålejrer det brunkulsførende sand. Længs antiklinalens ryg er der konstateret en erosionsrende, som er så dyb, at brunkulslagene i 15–20 m dybde er fjernet. Koch (1989) antager, at erosionsrenden er ældre end Weichsel-nedisningen, og ihvertfald ældre end hedesletten.

5.4. Gram-lerets udbredelse

Med Rasmussen's (1966) undersøgelser af den marine øvre miocæne lagserie er det vist, at grænsen for udbredelsen af Gram-leret i den centrale del af Jylland er præget af dybe indbugtninger og smalle udløbere. En smal udløber når således i retning fra NV mod SØ ned til Brande–Givø-egnen. Lokaliseringen af de forekomster (boringer og daglokaliteter), som Rasmussen (1966) baserede sine undersøgelser på i dette område, er indtegnet på kortet i Fig. 13. Det fremgår heraf med tydelighed, at Gram-leret kun findes inden for den strukturelle Givø–Herning Lavning, som altså må have eksisteret som depocenter i Sen Miocæn. Hvorvidt lavningen har været under indsynkning i Sen Miocæn er uklart.

I et begrænset område umiddelbart øst for Rind Å i udkanten af Skovbjerg Bakkeø er der boreriger, som viser, at grænsefladerne mellem de kvartære aflejringer og Gram-leret og mellem Gram-leret og Hodde-leret hælder i SV-lig retning ind mod den forkastning, som afgrænser Givø–Herning Lavningen (Fig. 15).

6. Basis Kvartær

Tertiær-overfladens højdeforhold i området omkring Brande blev skitseret af Milthers (1939) i forbindelse med beskrivelsen af "Kortbladet Brande". På grundlag af relativt få boreriger og daglokaliteter kom Milthers frem til en forestilling om, at Tertiær-overfladen under hedesletten danner et relieffattigt plan med svag vestlig hældning stort set konformt med hedeslettens overflade.

Binzer og Stockmarr (1985) udarbejdede et mere detaljeret kort, som dækker området svarende til 1-cm kortet 1214 Silkeborg. Kortet dækker det her omhandlede område på nær den vestligste del med Skov-

bjerg Bakkeø. Kortet føjer et par nye aspekter til Milthers' generelle billede.

Det fremgår tydeligt, at Tertiær-overfladen under bakkeøerne generelt ligger højere end under hedesletterne. Eksempelvis ligger de tertiære aflejringer under Brandlund Bakkeø 20–30 m over niveauet under hedesletten nord for Brande. Denne højdeforskel er af samme størrelse som den terrænmæssige højdeforskel.

Det mest iøjnefaldende nye træk er dog tilstedeværelsen af en rende, som skærer sig indtil ca. 90 m ned i den ellers relativt relieffattige flade. Renden forløber fra egnen omkring Give i NV-lig retning syd om Brande, hvor den passerer under Brandlund Bakkeø, som vist i tværsnit på Fig. 17. Fra Brandlund løber renden videre i et slingrende forløb med NNW-lig hovedretning. Den passerer nogle kilometer vest om Søby–Fasterholt-området i nordlig retning. Rendens forløb er anskueliggjort i Fig. 18. Det fremgår heraf, at rendens slingrende forløb opstår ved, at den er sammensat af N–S og SØ–NV forløbende segmenter. Renden er i det store og hele anlagt langs den vestlige side af Give–Herning Lavningen. Det antages, at renden for en stor del er betinget af erosion i de miocæne aflejringer. Erosionens geografiske forløb er øjensynlig kontrolleret af Give–Herning Lavningen. Kontrollen kan enten være direkte strukturelt betinget eller indirekte på den måde, at erosionen er anlagt i den lithologiske overgangszonzone langs randen af Gram-leret. Rendens dannelsesmåde og -tid diskuteres i øvrigt i afsnit 11.7.

Bakkeøerne

Under samtlige de bakkeøer (Fig. 1), som krydses af seismiske profiler (Fig. 3), findes der indikationer på forskellige former for strukturer i den underliggende lagserie. Som allerede beskrevet findes der under Brandlund Bakkeø SV for Brande en veludviklet trompetstruktur (Brandlund-strukturen) (Fig. 4 og 7). Under de øvrige bakkeøer synes der i de fleste tilfælde at være relativt simple antiklinaler (eller domestrukturer). Det gælder således Nørlund Bakkeø, Blåhøj Bakkeø (Fig. 4), Skovbjerg Bakkeø (Fig. 5) og Ejstrup Bakkeø (Fig. 8). Nogle af de små bakkeøer syd for Brande synes knyttet til antiklinaler dannet i forbindelse med et par større forkastninger (Fig. 8).

Forholdene ved Blåhøj Bakkeø er relativt godt belyst i kraft af, at der her findes to krydsende seismiske profiler (DNJ-17 og -20). Dertil kommer ti borer, som giver nogenlunde indsigt i præ-Kvartær-overfladens form. I Fig. 19 er strukturen af fladerne Top Kalk, Basis Neogen, Basis Kvartær og terrænet vist langs DNJ-20, som passerer Blåhøj Bakkeø i SØ–NV-lig retning. Terrænet genfindes i næsten én-til-én afbildning i kalkoverfladen, som er den bedst bestemte af de angivne flader. Der synes ikke at være megen tvivl om, at det samme relief også findes i de mindre vel-

LINIE DNJ - 17

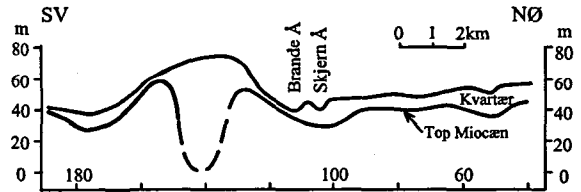


Fig. 17. Profil af terræn og Basis Kvartær/Top Miocæn langs den seismiske linie DNJ-17 på tværs af Brandlund Bakkeø. Bemærk den dybt nedskårne dal midt under bakkeøen.

dokumenterede flader. Blåhøj Bakkeø er altså det overfladiske udtryk for en domestruktur, som går gennem hele den tertiære lagserie.

Med de foreliggende observationer er det ikke muligt entydigt at afgøre om terrænformen blot afspejler en (passiv) drapering af de kvartære aflejringer oven på en tidligere færdigdannet struktur, eller om dannelsen også er foregået (aktivt) i Kvartær. Det forhold, at relieffet ved Basis Kvartær ser ud til at være lige så stort som i de dybere prækvartære niveauer, tyder dog på, at reliefdannelsen kan være ganske ung, dvs. Kvartær. Hvis nemlig domestrukturen var færdigdannet før Kvartær, måtte det forventes, at overfladen ville være udjævnet bl.a. som følge af jordflydningsprocesser navnlig under perioder med arktisk klima i forbindelse med nedisningerne. Den mulighed kan derfor ikke udelukkes, at strukturen kan være dannet helt eller delvis efter afslutningen Saale-nedisningen.

8. Hedeslettens topografi – generelle træk

Hedesletteområdet, som betragtes i dette arbejde, er den del af hedesletten, der falder inden for Give–Herning Lavningen, og som er markeret med grå tone på Fig. 20. Dette område udgør den sydlige og vestlige del af den hedeslette, som oprindeligt af Dalgas (1868) blev kaldt for Brande–Paarup Fladen, men som senere blev foreslået omdøbt til Arnborg Hedeslette af Milthers (1929). Hedesletten blev indgående beskrevet af Milthers (1939). Området grænser mod syd op til det strøg af bakkeøer, der i NV-lig retning skyder sig ud fra hovedopholdslinien ved Give syd om Brande. Den NØ-lige afgrænsning udgøres af den langstrakte Ejstrup Bakkeø og sydflyanken af Nørlund Bakkeø. Mod øst afgrænses hedesletten dels af hovedopholdslinien og dels af Nørlund Bakkeø's vestvendte flanke. Mod vest grænser hedesletten op til Skovbjerg Bakkeø. Den del af hedesletten, som ligger mellem Nørlund Bakkeø og Skovbjerg Bakkeø, hælder stort set mod vest. Den indeholder Søby Sø og afvandes af Fjederholt Å og Søby Å. Den sydlige del af hedesletten hælder i VNV-lig retning og afvandes af Brande Å, Skjern Å og Holtum Å (Fig. 1). Hældningen af hede-

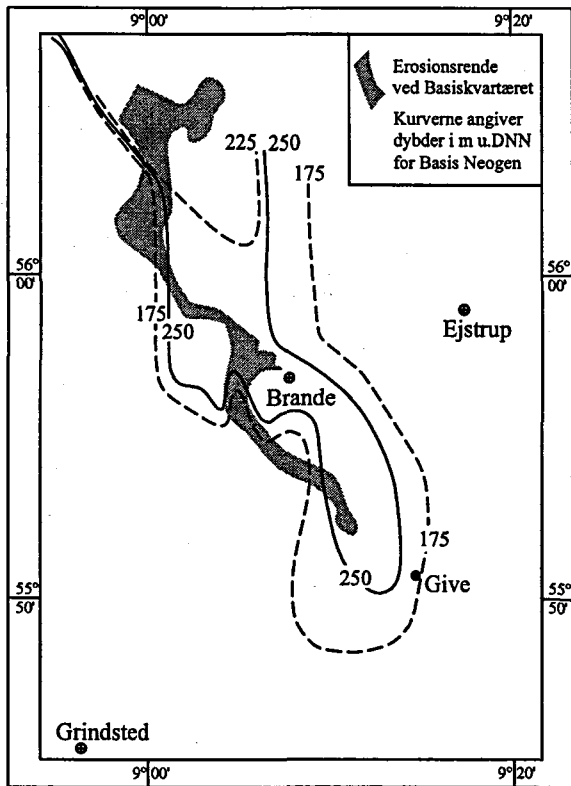


Fig. 18. Forløb af dyb erosionsdal i Miocæn-overfladen (delvis efter Binzer og Stockmarr 1985). Konturer angiver lavningen i Basis Neogen-fladen (jf. Fig. 13).

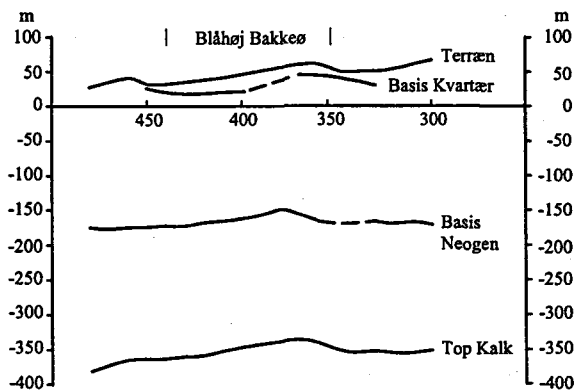


Fig. 19. Tolket udnit af DNJ-20 hen over Blåhøj Bakkeø. Basis Kvartær koterne stammer fra borer. Terræn-overfladen er stort set kongruent med Top Kalk, Basis Neogen og Basis Kvartær-fladerne.

sletteoverfladen varierer mellem 1 og 2 m pr. km. Hedesletten øst for Nørlund Bakkeø omtales ikke i det følgende.

9. Præcisionsnivelementer

På grundlag af de gentagne præcisionsnivelementer (langs tracéen angivet i Fig. 3 og delvis i Fig. 21) er nivelements punkternes vertikale flytningshastigheder beregnet som seneste kote minus tidligste kote/seneste år minus tidligste år og angivet i mm/år. Hævninger angives derfor ved positive tal og sænkninger som negative tal. Flytningshastighederne er anskueliggjort i Fig. 22, hvor x-aksen angiver afstanden langs tracéen.

Flytningshastighederne varierer mellem +0,8 mm/år ved Give og -0,4 mm/år ca. 4 km sydøst for Brande. Variationerne indeholder regionale komponenter, som kommer til udtryk ved en ca. 20 km lang strækning med hævnning i den sydlige del af profilet, og en 20-25 km lang strækning i den mellemste del af profilet, med en næsten konstant, SV-lig gradient i flytningshastigheden, og endelig en kort strækning i den nordligste del af profilet ved Herning næsten uden flytning. Kun i et enkelt nivelements punkt afviger flytningshastigheden væsentligt fra nærmeste nabopunkter. Dette punkts flytning antages at bero på helt lokale forhold. Punktet, som er angivet i parentes i

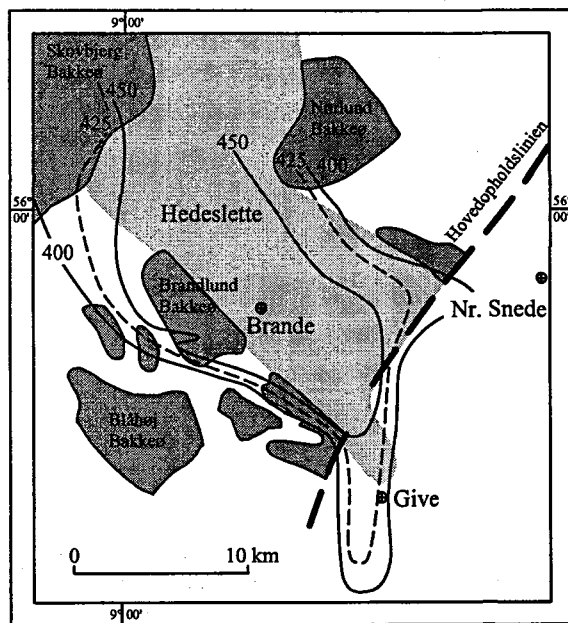


Fig. 20. Hedesletten i Give-Herning Lavningen (lys gråtone). Bakkeøerne er angivet med mørk gråtone. Konturer angiver lavningen i kalkoverfladen (jf. Fig. 11).

Fig. 22, er ignoreret ved tegning af kurven. Kurven i Fig. 22 skal fortolkes under hensyntagen til, at tracéen består af en knækket kurve sammensat af tre stort set lineære afsnit, nemlig Billund–Give, Give–Arnborg og Arnborg–Herning.

De to sydligste afsnit danner en så forholdsvis stor vinkel med hinanden, at det lader sig gøre at skitsere den arealmæssige fordeling af flytningerne i et område med Give i den centrale østlige del, som vist i Fig. 23. Kurverne viser et plan, som er under vipning om en akse, som er omtrent N–S (N 5–10° Ø). Vipningsgradienten er ca. 2 mm/år pr. 10 km mod vest. Området med denne gradient falder inden for den østlige del af hedesletten og det tilstødende landskab øst herfor (B–C på Fig. 21).

Betragter man det mellemste og det nordligste afsnit, og ser man bort fra den nordligste del ved Herning, antydes det, at området er under vipning ned i østlig retning, med en gradient på 0,1 mm/år pr. 10 km. Denne strækning omfatter hedesletten og de østligste dele af Skovbjerg Bakkeø.

Som det fremgår af Fig. 23 ligger den flade, som vipper mod vest, over og tilnærmelsesvis langs med hovedforkastningen (A på Fig. 2) ved Basis Zechstein. Selvom forkastningsplanet har en strygning, som afviger 10–20° fra strygningen af den vippende flade, så antages det, at der eksisterer en årsagsmæssig sammenhæng mellem de to fænomener. Med andre ord tolkes den observerede vipning som udtryk for, at der i vore dage foregår bevægelser i forkastningen ved Basis Zechstein, hvor den vestlige blok bevæger sig nedad i forhold til den østlige, og at disse bevægelser forplantes til overfladen under dannelse af en fleksur i de overfladenære, uhærdnede sedimenter.

For de nivellemenspunkter, som ligger inden for den vippende flade (strækning B–C, Fig. 21 og 22), kan der konstateres en tydelig tendens til positiv korrelation mellem flytningshastigheden og terrænkoten (Fig. 24). Dette tages som indikation på, at relieffet ved hovedopholdslinien stadigvæk er under opbygning. For nivellemenspunkter, som ligger på hedesletten mellem Arnborg og Brande (A–B på Fig. 21), har der vist sig at være en god negativ korrelation mellem flytningshastighederne og de nuværende terrænkoter (Fig. 25). Hedeslettens oprindelige vesthældning er altså i vore dage under reduktion.

Det forhold, at der optræder både positiv og negativ korrelation mellem terrænkoter og flytningshastigheder, viser, at flytningsbilledet ikke blot er et resultat af simpel isostatisk opløft, men et udtryk for et sammensat hævnings/sænknings-mønster.

Alt i alt er det med de forhåndenværende data mest nærliggende at tolke de modsat rettede vipninger som resultatet af recent forkastningsaktivitet i hovedforkastningen (A på Fig. 2) ved Basis Zechstein. Den relativt svage vipning ned mod øst af hedesletten kan ses som udtryk for nedbøjning af lagene på den hængende blok, og den relativt stærke vipning ned mod vest i området øst for hedesletten kan tilsvarende ses

som udtryk for en fleksur, som dannes i de bløde overfladenære sedimenter hen over selve forkastningen og i retning mod den liggende blok, som vippes opad (Fig. 26). Denne fortolkning er baseret på den antagelse, at forkastningen ved Basis Zechstein opfører sig i henhold til den almindelige udviklingsmodel for store ekstensionsforkastninger, som beskrevet af Korstgård (1996).

Tracéen med præcisionsnivelementerne løber langs Brande Å's nordside langs hovedvejen Vejle–Holstebro. Et højdeprofil langs tracéen viser, at hedesletten mellem Brande og Give er sammensat af to segmenter med forskellig hældning, nemlig et SØ-ligt med gennemsnitshældningen 2,8 m/km og et NV-ligt med gennemsnitshældningen 1,7 m/km (Fig. 27). Figuren viser også, at der findes et mindre knæk i Brande Å-dalens længdeprofil. Ændringen i gradienten sker på det sted, hvor de to vippende planer (givet ved præcisionsnivelementerne) mødes. I lyset af den ovenfor anførte fortolkning af præcisionsnivelementerne betyder det altså, at de svage knæk i langsprofilerne kan ses som et resultat af bevægelse i forkastningen.

10. Hedeslettens detail-topografi

Med baggrund i den indsigt, som nu findes om undergrunden og med præcisionsnivelementernes dokumentation af recente vertikalflytninger, har vi forsøgt at analysere de topografiske forhold på den del af hedesletten, som ligger inden for den strukturelle Give–Herning Lavning (jf. Fig. 20). Tankegangen har været den, at eventuelle tektonisk fremkaldte deformationer, som er foregået i tiden efter isens bortsmeltning fra hovedopholdslinien, vil, hvis de er tilstrækkeligt store, kunne afspejles som topografiske anomalier i hedeslettens overflade. Og hvis deformationerne stadigvæk er under udvikling, vil de tillige afspejles i de vertikale flytningshastigheder bestemt ved præcisionsnivelementerne.

I forbindelse med en hydrogeologisk undersøgelse i 1988 (Dansk Geo-servEx 1988) blev det af en af forfatterne fundet, at hedesletten mellem Brande Å og Skjern Å ligger nogle meter lavere end hedesletten nord for Skjern Å. En analyse af topografiske kort lå til grund for iagttagelsen. Niveauforskellen træder tydeligt frem ved, at hele højdekurvebilledet i området mellem de to åer er forskudt ca. 2 km mod øst i forhold til området nord for Skjern Å (Fig. 28), således at f.eks. 50 m-kurven mellem åerne ligger omtrent ud for 55 m-kurven nord for Skjern Å. Dette kurvebillede viser, at området mellem Brande Å og Skjern Å må anses for at være sænket 4–5 m i forhold til området nord for Skjern Å.

Tracéen med præcisionsnivelementer passerer Skjern Å-dalen ved sammenløbet mellem Brande Å og Skjern Å. Et udsnit af traceén omkring passagen er vist i Fig. 29. Bortset fra nogle uregelmæssigheder i selve Brande, ses en tydelig ændring i den vertikale

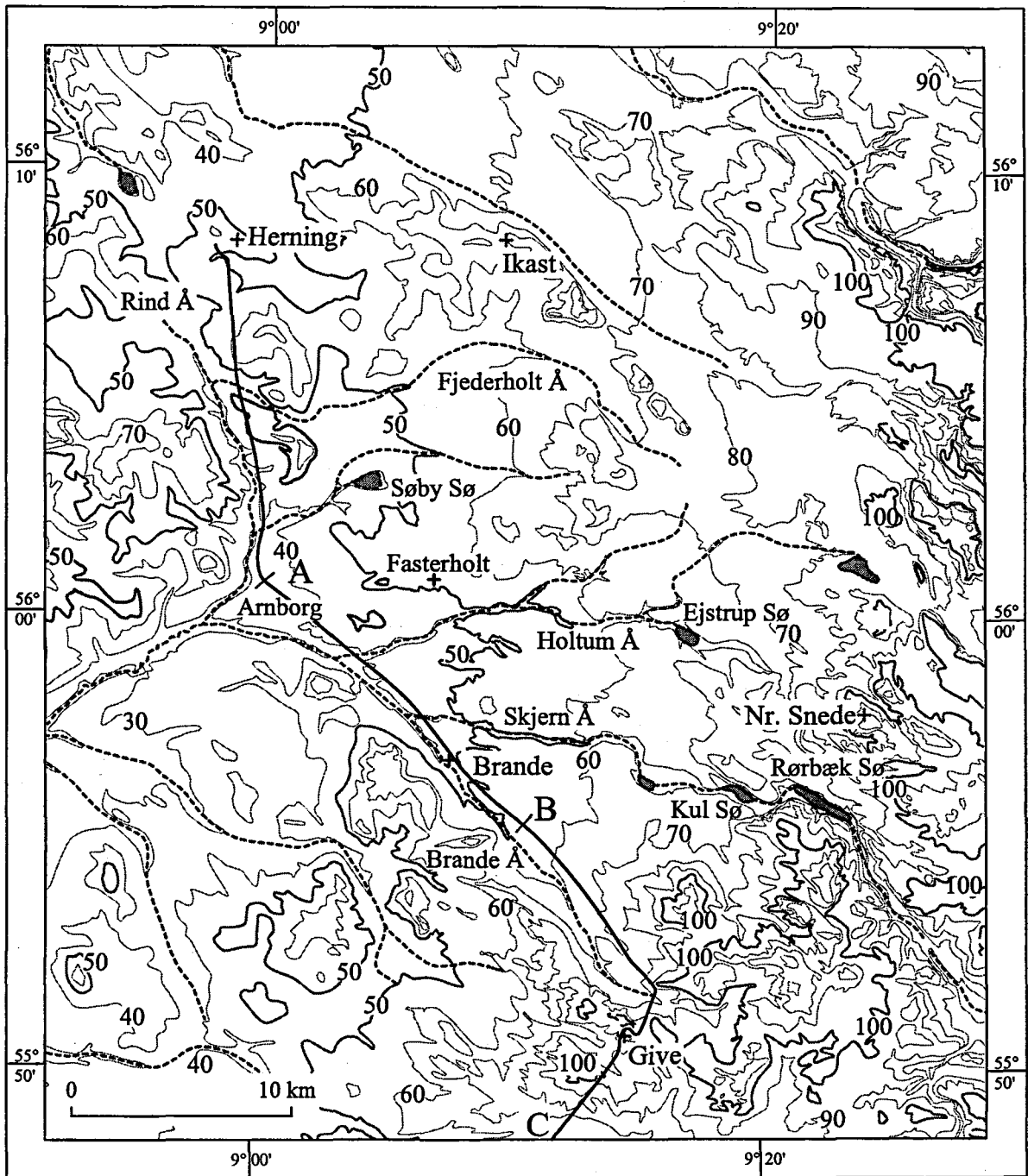


Fig. 21. Tracé for Kort- og Matrikelstyrelsens præcisionsnivelementer. Højdekurver o.a. topografisk information forenklet efter Kort- og Matrikelstyrelsens 1-cm kort. Gengivet med tilladelse © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 188-96). Det sydlige endepunkt (C) ved Billund ligger neden for kortrammen. Hele tracéen er indtegnet på Fig. 3).

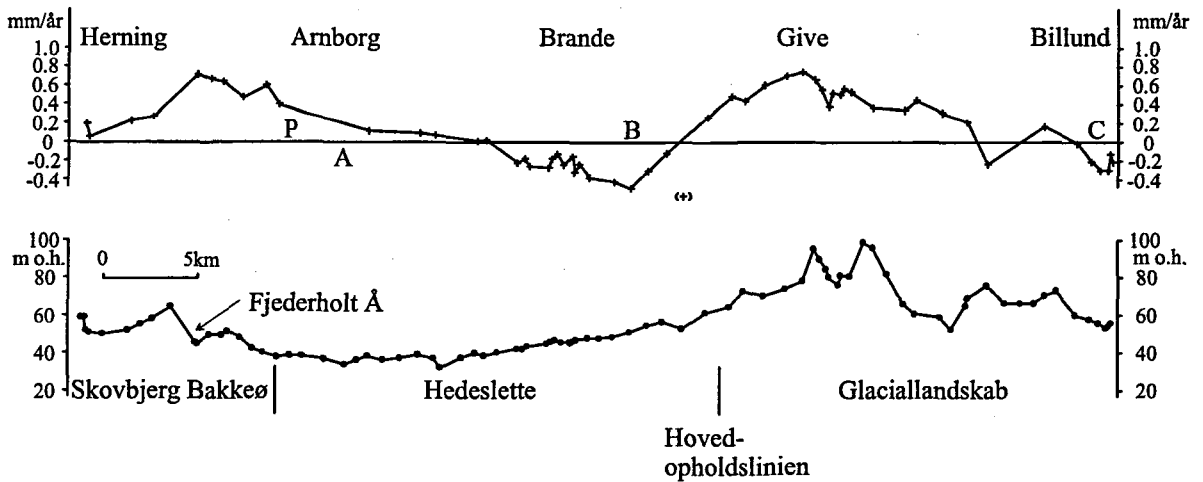


Fig. 22. Vertikale flytningshastigheder (øverste kurve) beregnet ud fra gentagne præcisionsnivelementer fortrinsvis i årene 1950 og 1992. Nederste kurve: terrænprofil langs nivelementstracéen. Beliggenheden fremgår af Fig. 3 og 21.

flytningshastighed ved passagen af Skjern Å-dalen. Det skønnes, at hastigheden er ca. 0,2 mm/år lavere på Brande-siden end nord for Skjern Å-dalen. Antages det, at flytningshastighederne er konstante i tiden, så kan det skønnes, at højdeforskellen mellem de to dele af hedesletten er udviklet i løbet af størrelses-

ordenen 20.000 år, altså skønsmæssigt i hele perioden efter at aflejringen af hedeslettesandet blev tilendebragt.

Det seismiske profil DNJ-23 passerer hen over hedesletten nord for Brande (jf. Fig. 3). Af profilet (Fig. 8) fremgår det, at der under Skjern Å-dalen findes en forkastningszone. Desværre er der et gab i det seismiske profil netop under dalen. Gabet er formentlig opstået fordi nogle skudpunkter har måttet overspringes pga. uvejsomhed omkring åen. Af den grund kan det ikke afgøres med fuldstændig sikkerhed om Basis

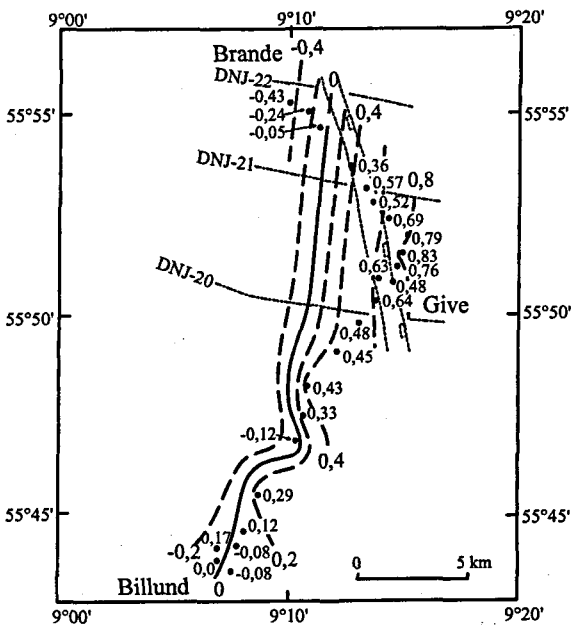


Fig. 23. Skitsekort over de vertikale flytningshastigheder ved Give. Tallene ved punkterne angiver de beregnede hastigheder i mm/år. Med stiplede, parallelle linier angives beliggenheden af hovedforkastningen ved Basis Zechstein (sydlige gren af forkastning A på Fig. 2). Seismiske linier er angivet med stiplede linier.

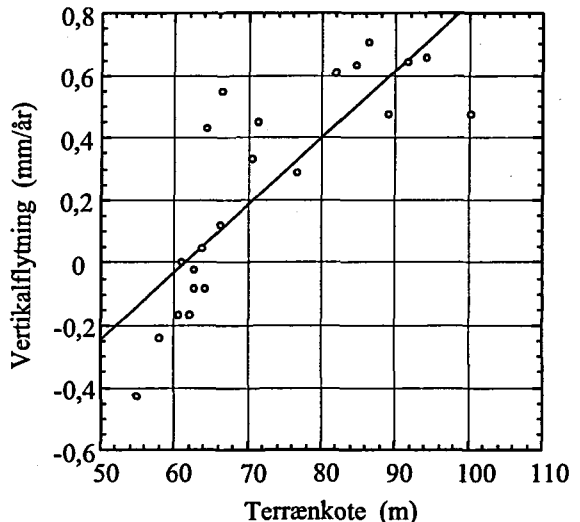


Fig. 24. Krydsplot af den vertikale flytningshastighed og terrænkoter for nivelementspunkter på strækningen B-C (Fig. 20) i den østlige del af hedesletten og det tilgrænsende bakkeland mod øst. Den rette linie er beregnet ved lineær regression.

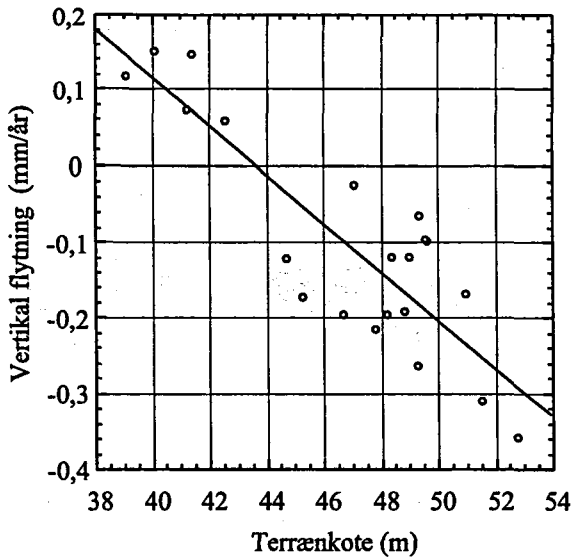


Fig. 25. Krydsplot af den vertikale flytningshastighed og terrænkoter for nivelemøntspunkter på strækningen A-B (Fig. 21 og 22) på hedesletten. Den rette linie er beregnet ved lineær regression.

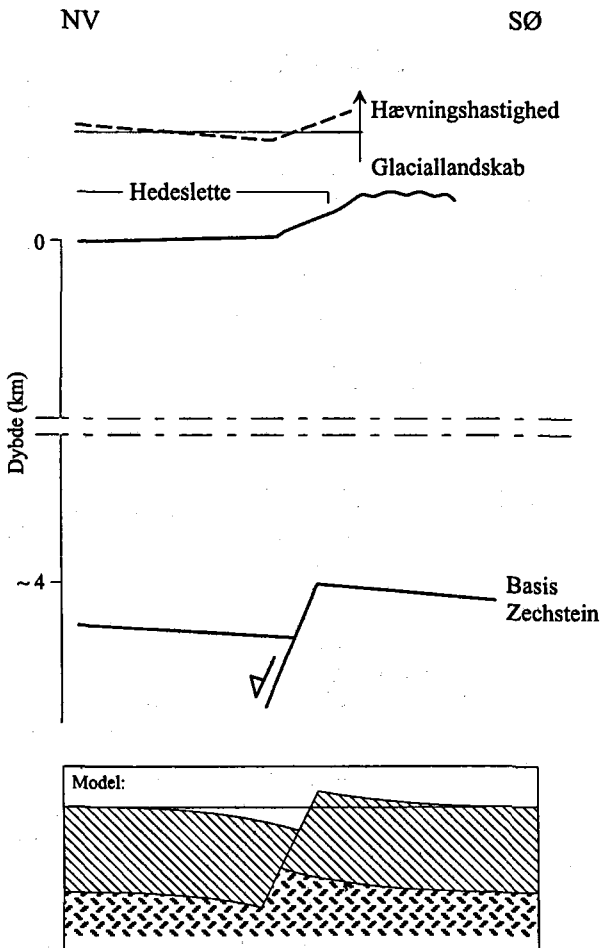


Fig. 26. Skitse til illustration af formodet sammenhæng mellem aktiv normalforkastning ved Basis Zechstein og terrænets deformation. Modellen nederst i figuren er skitseret efter Korstgård (1996).

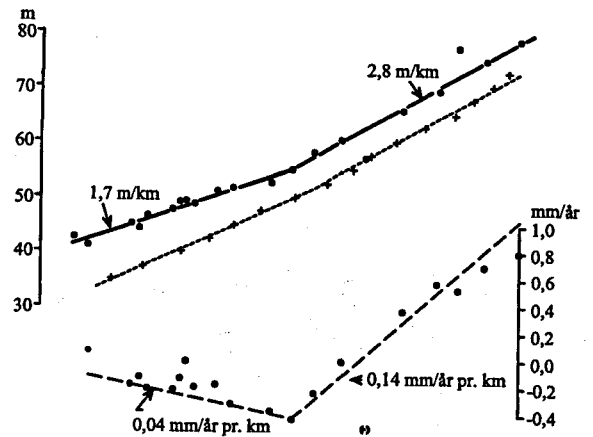


Fig. 27. Sammenhæng mellem (øverst) hedeslettens hældning (cirkler og fede linier), Brande Å-dals bundhældning (krydser og stiplede linier) og (nederst) variationerne i vertikale flytningshastigheder beregnet ud fra gentagne præcisionsnivelemerter.

Neogen-fladen er forkastet. Iøvrigt ville det have været vanskeligt – om ikke umuligt – at identificere en forkastning med en springhøjde på 4 m i det seismiske profil, selvom det havde været komplet. Det bemærkes dog at Basis Neogen-refleksionen er forsenket ca. 25 m syd for en fleksur, som på det seismiske profil befinder sig ca. 500 m nord for Skjern Å-dalen.

De foreliggende observationer peger alle i retning af, at højdeforskellen mellem hedesletten nord og syd for Skjern Å må skyldes tektonisk indsynkning af området syd for Skjern Å. Indsynkningen indikerer, at hedesletteområdet er – og måske i hele sin eksistens-tid har været – under ekstension i nord-sydlig retning.

Betragtes det topografiske oversigtskort (Fig. 30) over hele hedesletten ses det, at hedesletten groft set kan opdeles i en nordlig og en sydlig flade, som adskilles ved, at den nordlige ligger lidt højere end den sydlige. Dette kommer især tydeligt frem ved at betragte 50 og 60 m-kurverne, som i udjævnet form er skitseret på figuren. Kurvernes bratte sving mod øst angiver grænsezonen mellem de to dele. Grænsezonen forløber i VNV-lig retning fra Ejstrup Sø langs Holtum Å og videre umiddelbart syd om de gamle brunkulgrave i Søby-Fasterholt-området. Sammenholdes højderne på nord og sydsiden af grænsezonen, kan det anslås, at den sydlige del ligger ca. 10 m lavere end den nordlige, og at højdeforskellen er aftagende mod vest. Den omtrent øst-vest forløbende grænsezone mod den sydfor liggende hedeslette falder tæt på og sub-parallel med en zone af forkastninger, som er observeret ved Basis Neogen og på dybere niveauer i den østlige del af hedesletten (Fig. 30). Der er altså grund til at overveje den mulighed, at terrænspringet kan være af tektonisk oprindelse. Forlænges overgangszonen mod vest, rammer den Skovbjerg Bakke lidt nord for Arnborg. På det sted viser præcisionsnivelemerterne, at flytningshastigheden på hedesletten er

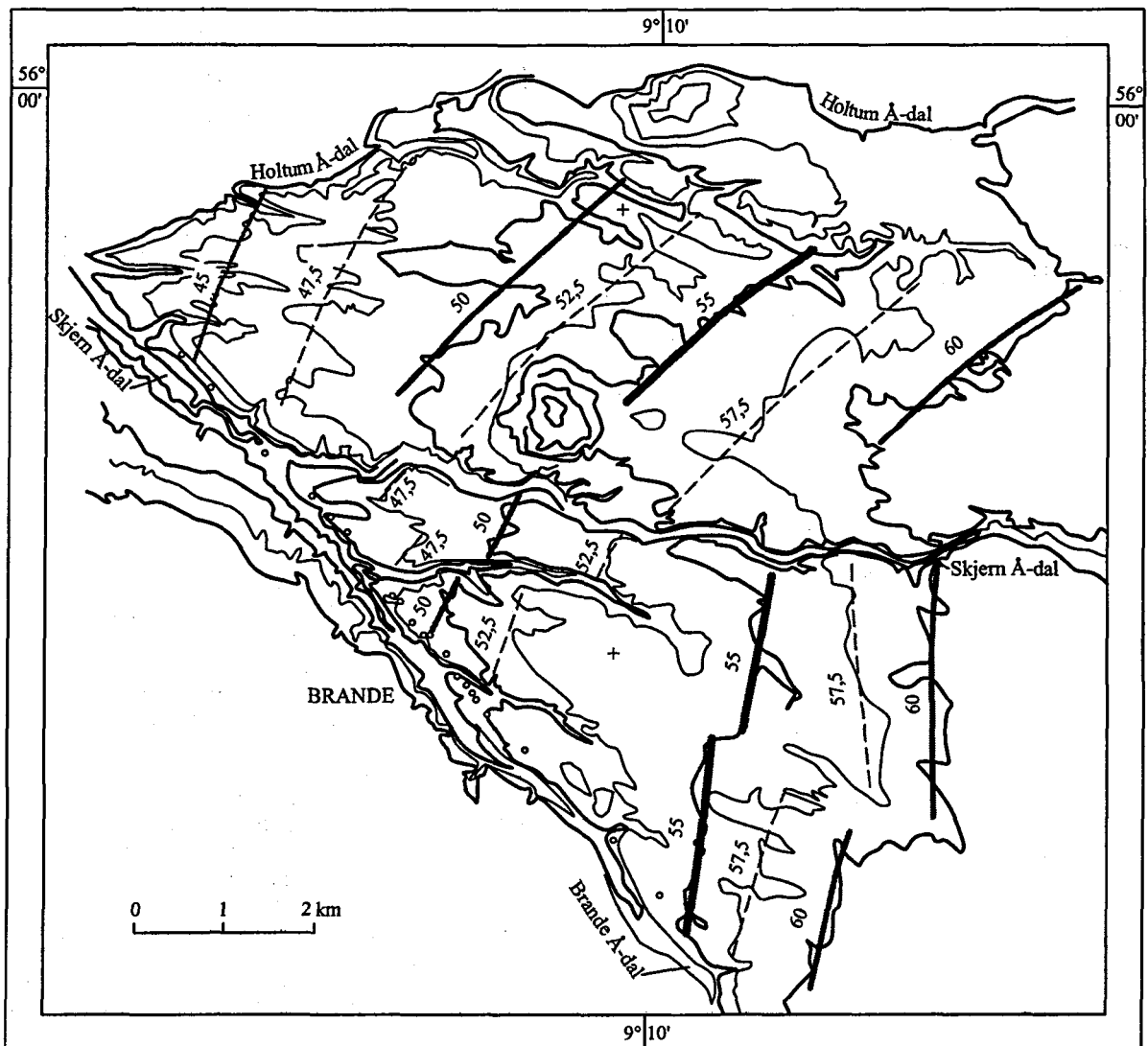


Fig. 28. Hedeslettens topografi. Ækvidistance: 2,5 m efter Kort- og Matrikelstyrelsens 4-cm kort 1214 III NV. Gengivet med tilladelse © Kort & Matrikelstyrelsen (A. 188-96). Med fede, heltrukne og stiplede linier angives det udglattede forløb af højdekurverne. Forskydningen af kurverne på tværs af Skjern Å svarer til en højdeforskel på ca. 4 m. En tilsvarende forskydning midt mellem Skjern Å og Brande Å svarer til højdeforskelle < 2 m.

stigende i retning fra syd mod nord (jf. Fig. 22). Differencen mellem de to punkter, som ligger på hver sin side af den ekstrapolerede overgangszone, andrager 0,25 mm/år (1950–1992). Pga. det betydelige erosionsrelief, som findes langs vestsiden af hedesletten ved Skovbjerg Bakkeø's østflanke, er det ikke muligt med sikkerhed at bedømme højdeforskellen på tværs af den ekstrapolerede zone i nivellementstraceén. Det ser dog ud til, at højdeforskellen er i nærheden af 5 m. Forudsættes det, at forskellen i flytningshastigheden har været konstant igennem tiden, så kan dannelsesstiden for et terrænspring af denne størrelse anslås til 16–20.000 år. Dette kan tages til indtægt for den opfat-

telse, at højdeforskellen mellem de to dele af hedesletten er tektonisk, og fremkaldt af en sænkning af den sydlige del over en periode, som måske omfatter hele perioden efter Weichsel-isens endelige retræte fra Midtjylland.

Sluttelig betragtes kurvebilledet på hedesletten mellem Skjern Å og Brande Å (Fig. 28). Man ser her, at der findes en mindre, men systematisk forskydning af højdekurverne langs en zone, som stort set halverer vinklen mellem de to ådale. Kurverne nærmest Brande Å er forskudt mod vest, hvilket vil sige, at området nærmest Brande Å er hævet lidt i forhold til området nærmest Skjern Å. Den vertikale forskydning er afta-

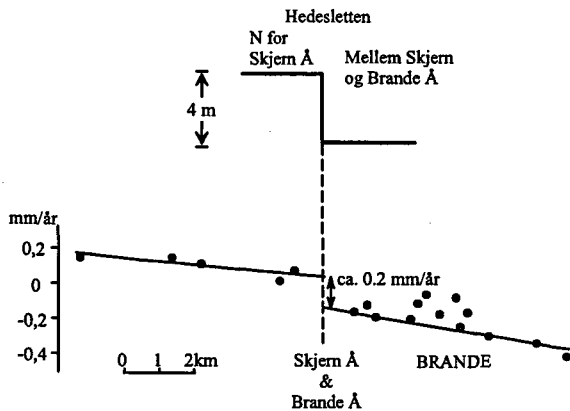


Fig. 29. Vertikalflytninger (mm/år) omkring sammenløbet mellem Brande Å og Skjern Å. (Detalje af kurven i Fig. 22). Trappekurven øverst angiver størrelsen af terrænspringet på tværs af Skjern Å (jf. Fig. 28).

gende fra ca. 2 m længst mod øst til mindre end 1 m længst mod vest. Det topografiske spring forløber temmelig præcist i længdeaksen af den meget langstrakte forekomst af brunkul, som er kortlagt i hedesletten øst for Brande (Grambo-Rasmussen 1984) (Fig. 31). Brunkulsforekomstens lineære form kan være udtryk for, at aflejringer er sket i en gammel flodseng, som evt. kan være anlagt i en forkastningszone, eller den kan være direkte strukturelt betinget, f.eks. ved at aflejringer er sket på den nedforkastede side af en normalforkastning. Det spørgsmål kan ikke afklares med de foreliggende data, men topografiske udtryk i hedesletten lader ane, at der er tale om en forkastningszone, som også har været aktiv i Sen- og Postglacial tid.

11. Skitse til model for det tektoniske udviklingsforløb i Neogen og Kvartær

På baggrund af den mængde af informationer, som er skildret i de foregående afsnit, skal der nu gøres et forsøg på at skitsere et helhedsbillede med hovedvægten på de strukturelle sider af det geologiske udviklingsforløb i Tertiær og Kvartær i Midtjylland. Vi har taget udgangspunkt i kalkoverfladens struktur. Lavningernes systematiske placering langs nordsiden af Ringkøbing-Fyn Ryggen synes at rumme en nøgle til forståelse af vigtige sider af de kinematiske forhold, som ligger bag dannelsen af de geologiske strukturer i Brande-området. Vi hæfter os ved, at lavningernes længdeakser er orienteret parallelt med Ringkøbing-Fyn Ryggens nordflanke eller med flankerne af Brande Graven (Fig. 10 og 32). Det tolkes som udtryk for, at der under dannelsen i løbet af Tertiær har eksisteret ekstensionsspændinger i retninger vinkelret på Ringkøbing-Fyn Ryggen og lokalt også vinkelret på Brande Graven. En sådan tilstand kan tænkes skabt ved 1) at der har eksisteret en bevægelseskomponent i Ringkø-

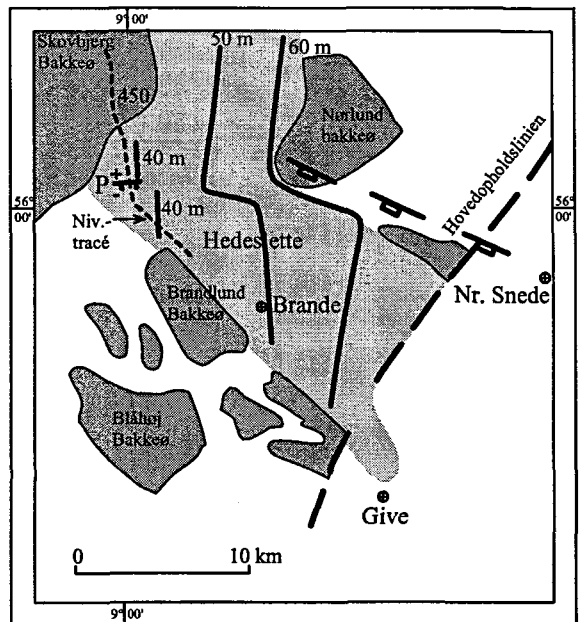


Fig. 30. Forenklet topografisk kort over hedesletten inden for Give-Herning Lavningen (lys gråtone). De viste 40, 50 og 60 m kurver er udglattede versioner af højdekurver på 1-cm kortet 1214 Silkeborg. Bakkeøerne er angivet med mørk gråtone. Den angivne forkastning fortsætter Top Kalk.

bing-Fyn Ryggen med retning væk fra Det Danske Bassin, og 2) at Grindsted Blokken samtidig har bevæget sig i VNV-retning dvs. i Vinding Brudzonens retning bort fra Glamsbjerg Blokken. På den måde kan ekstensionen være vedligeholdt både langs ryggen og i Brande Graven. (Dannelsen af lavningen i Store Bælt kan på tilsvarende måde forstås ved at Glamsbjerg Blokken har bevæget sig i VNV-retning i forhold til den SØ-ligste del af Ringkøbing-Fyn Ryggen på Sjælland.)

Disse overvejelser har ført os til den opfattelse, at der langs nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen har været dextrale (højrevendte) sideværts bevægelser kombineret med ekstension (såkaldt transtension) i løbet af Tertiær. Det gamle palæozoiske dextral-system langs Vinding Brudzonen ser altså således ud til at være blevet genoplivet i Tertiær. En sådan opfattelse er i overensstemmelse med Sorgenfrei's (1949, 1951) fortolkning af tilstedeværelsen af en række en échelon-ordnede antiklinaler på grænsefladerne skrivekridt/Danien Kalk, Danien Kalk/Kertemind Mergel på Sydsjælland og Fyn.

Gentagne præcisionsnivelementer viser, at den udvikling er fortsat frem til vore dage. På Fig. 32 er der indtegnet de nivelementstracéer, som krydser nogle af lavningerne i kalkoverfladen. Det drejer sig dels om de tidligere beskrevne nivelementer mellem Billund og Herning, og dels om nivelementer som er udført mellem Ringkøbing og Holstebro, Vejle og

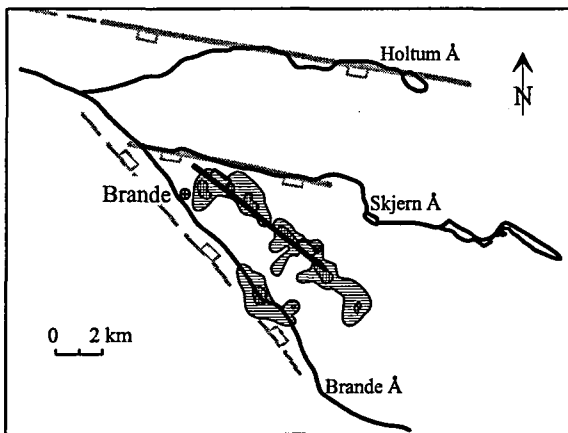


Fig. 31. Brunkulforekomster i hedesletten mellem Brande Å og Skjern Å (efter Grambo-Rasmussen 1984). Tykkelser angivet ved skravering. Vandret skravering 0-1 m, krydsskravering > 1 m. Grå linier angiver formodede forkastningstracéer.

Skanderborg samt mellem Horsens og Silkeborg. Resultaterne fra de tre sidstnævnte strækninger (Andersen et al. 1974) viser, ligesom målingerne mellem Billund og Herning, at der stadig foregår lokal indsykning i de gamle Tertiær-bassiner.

Det system af normalforkastninger, som siden dannelsen af hedesletten har opdelt denne i en række afsnit (Fig. 31), tages som udtryk for, at indsykningen foregår i et differentieret mønster af mere eller mindre kileformede blokke, hvis største tværmål kun er ganske få kilometer.

Give-Herning Lavningens knækkede forløb synes at kunne finde sin forklaring i, at de relative bevægelser mellem Glamsbjerg Blokken og Grindsted Blokken er foregået (og foregår) ved forskydninger langs de to hovedforkastninger (A og B Fig. 32; jf. Fig. 2, 11 og 13), som forløber hhv. N-S langs Give-Herning Lavningens østvendte flanker og SØ-NV langs Brande Lavningens NØ-flanke.

Den samlede indsykning ved hovedforkastningerne siden slutningen af Danien kommer til udtryk i Top Kalk-fladens form. Den samlede indsykning andrager ca. 150 m (Fig. 11). Heraf er ca. 50 m af indsykningen sket siden begyndelsen af Miocæn (Fig. 14). Antages det, at indsykningen er en fortløbende proces, og henføres de første ca. 100 m til perioden fra slutningen af Danien til slutningen af Oligocæn (ca. 35 mill. år) og de sidste ca. 50 m til Miocæn (ca. 20 mill. år), kan det skønnes, at den gennemsnitlige indsykningshastighed i Give-Herning Lavningen har været omtrent konstant 2,5-3 mm/1.000 år indtil slutningen af Miocæn.

Hvis tolkningen af præcisionsnivelementerne hen over hovedforkastningen ved Give (A Fig. 32) accepteres som udtryk for indsykning på vestsiden af forkastningen (Fig. 23), indikerer der en recent indsykningshastighed i Give-Herning Lavningen på ca.

400 mm/1000 år. Denne kolossale stigning i indsykningshastigheden synes meget vel at kunne være udtryk for en ændring i tektonisk indsykningshastighed. Ændringen svarer nemlig temmelig nøje til den stigning, som er konstateret i Nordsøbassinet ved overgangen Miocæn-Pliocæn (Cloetingh et al. 1992).

Antages det at den vertikale forskydning i normalforkastningen i præ-Zechstein i den østlige side af Give-Herning Lavningen, er en direkte følge af dextrale sideværts forskydninger langs Vinding Brudzonen, så kan den horisontale forskydning (h) på forkastningen beregnes af $h = v/tg\alpha$, hvor v er den vertikale forskydning og α er forkastningsplanetens hældning. Hvis den vertikale forskydning sættes til ca. 150 m (jf. Fig. 11), og hældningen anslås til 60° , så kan den totale horisontale forskydning siden Danien af Grindsted Blokken i forhold til Glamsbjerg Blokken anslås til knap 100 m.

En gruppe af de strukturelementer, som findes i Brande-området, ser ikke umiddelbart ud til at kunne indpasses i den foreslåede tektoniske model med et overordnet dextralt sideværts forkastningssystem i kombination med tension langs nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen. Det gælder for de strukturer, som indikerer kompressive dannelsesforhold, nemlig trompetstrukturerne, som iflg. seismikken findes under Brandlund Bakkeø (Fig. 4 og 7), mellem Skjern Å og Holtum Å vest for Nr. Snede (Fig. 9) og ved Give (Fig. 6). Desuden gælder det foldningerne og overskydningerne i brunkulserien ved Søby-Fasterholt. Endelig må domestrukturerne under bakkeøerne også medregnes i denne gruppe af strukturer.

Vi har overvejet to forskellige modeller for forståelse af disse strukturer. I den første har vi forsøgt at se kompressionsstrukturerne som direkte relateret til det regionale dextrale sideværts forkastningssystem. I den anden har vi antaget, at der under dannelsen af strukturerne lokalt og i en afgrænset tidsperiode har hersket kinematiske forhold, som afviger fra de normale tilstande.

Model 1: Kompressionsstrukturerne er dannet iht. idealmodellen for et sideværts system med SØ-NV forløbende dextrale bevægelser. Akseretningen for de tilhørende kompressionsstrukturer må da forventes at have NØ-SV-lige retninger (jf. Wilcox et al. 1973). Ingen af kompressionsstrukturerne i Brande-området ser ud til at have tilnærmelsesvis denne akseretning. De sikrest bestemte akseretninger (i brunkulsgravene i Søby-Fasterholt området) har NV-NNV-lige retninger. Samme retning ser ud til at gælde for Brandlundstrukturen (Fig. 13). Antiklinalen ved overfladen af Arnum Formationen forløber i NV-SØ og N-S retninger langs flanken af Give-Herning Lavningen (Fig. 13). Pga. disse retningsmæssige afvigelser fra det forventede ideale mønster er vi tilbøjelige til at mene, at strukturerne ikke er relateret på simpel måde til det overordnede kinematiske system. Dog er der den

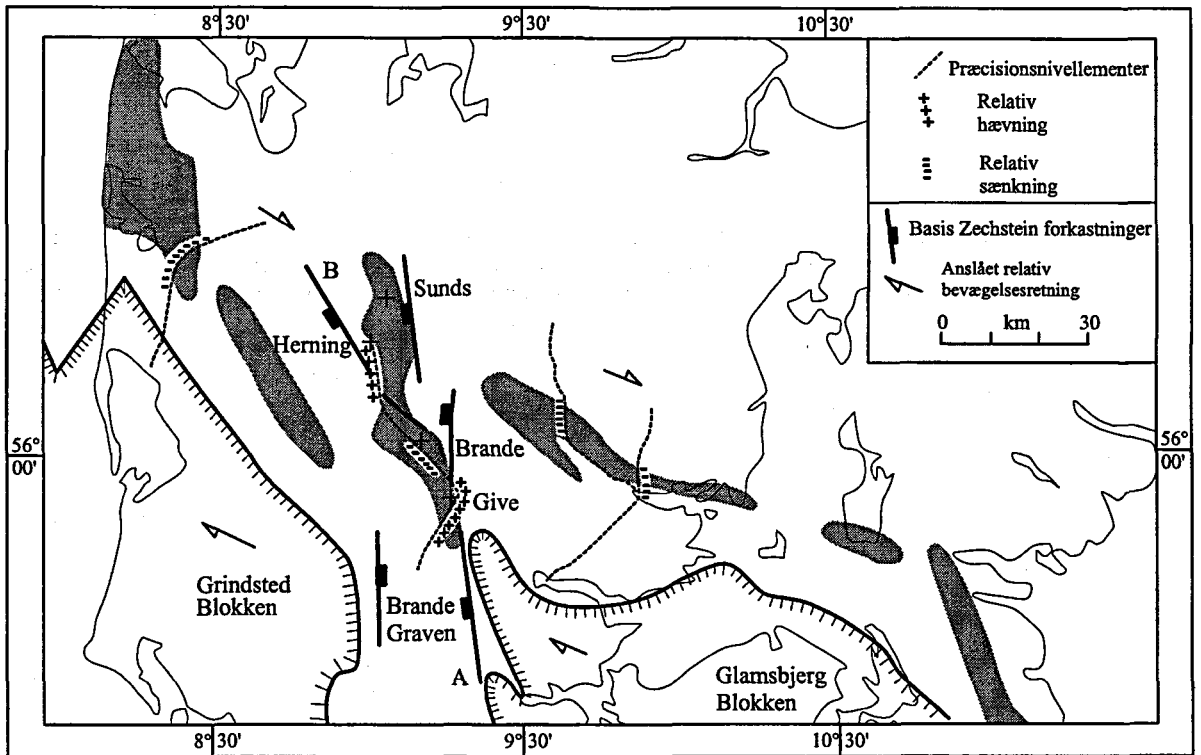


Fig. 32. Depressioner (gråtone) i kalkoverfladen som i Fig. 10. Forkastninger ved Basis Zechstein som i Fig. 2. Stiplede linier angiver tracéer med gentagne præcisionsnivelelementer. Med + og - angives strækninger med lokal hævnning og sænkning. Med pile angives de formodede relative hovedbevægelsesretninger for Ringkøbing-Fyn Ryggens blokke og området nord herfor.

mulighed, at der i hele området findes et system af ikke-parallele forkastninger i stil med de forkastninger, som f.eks. afgrænser sænkingsområdet mellem Brande Å og Skjern Å. Sådanne systemer af udkilende forkastningsblokke er beskrevet fra de kendte sideværts forkastningszoner som f.eks. San Andreas zonen i Californien (Dibblee 1977; Crowell 1984). I et sådant system foregår hævnning eller sænkning af blokkene afhængig af forkastningernes vinkler i forhold til hovedforkastningens retning. Det kan tænkes, at kompressionsstrukturerne er dannet mellem konvergerende forkastningssæt. I så fald kan de være samtidige med sænkingsstrukturerne på hedesletten.

Model 2: Kompressionsstrukturerne er dannet i en periode da ekstensionstilstanden i Give-Herning Lavningen midlertidigt har været afløst af en tilstand præget af kompression. En sådan ændring kunne muligvis være fremkaldt af en forbigående ændring i den relative bevægelse af Glamsbjerg Blokken og Grindsted Blokken på den måde, at Glamsbjerg Blokken i en periode har nærmet sig til Grindsted Blokken. Den ændrede tilstand ville f.eks. kunne betyde, at Give-Herning Lavningens forskellige grene ville blive udsat for sinistrale sideværts bevægelser ledsaget af kom-

pression på tværs (transpression). Dette vil formentlig især være tilfældet i de N-S-forløbende grene af lavningen. De observerede akseretninger ser ud til uden besvær at kunne indpasses i et sådant system. Vi har dog ikke kunnet finde andre uafhængige indikationer på, at de kinematiske forhold har ændret sig som skitseret. Forestillingen om en begrænset periode med lokale kompressionstilstande i Give-Herning Lavningen og nærmeste omgivelser har derfor hypotesens karakter.

Med de forhåndenværende data findes der kun begrænsede muligheder for at afgrænse det tidsinterval i hvilket kompressionsstrukturerne er dannet. I Søby-Fasterholt-området kunne Koch (1989) vise, at antiktinalen, som udgør kernen i Lavsbjerg Bakkeø, må være dannet i perioden efter aflejringen af Gramleret, dvs. efter Sen Miocæn og inden aflejringen af Weichsel-hedeslettesandet. Overvejelserne, der blev fremført i forbindelse med strukturerne under Blåhøj Bakkeø (afsnit 7), peger på en dannelsesetid, som kan ligge i intervallet efter Saale-nedisningens afslutning.

Den indre opbygning af Brandlund Bakkeø rummer muligvis også en kilde til vurdering af alderen af Brandlund-strukturen. Som vist på Fig. 17 og 18 findes der en betragtelig fordybning ved Basis Kvartær.

Fordybningen forløber på langs i den centrale del af trompetstrukturen, og den er ifølge boringerne udfyldt med kvartære aflejringer. Fordybningen kan næppe oprindelig være dannet på toppen af trompetstrukturen. Den må rimeligvis være anlagt i de allerførste faser af trompetstrukturens udvikling. Vi foreslår den mulighed, at fordybningen kan være anlagt som en langsgående depression dannet som følge af lokal tension i de centrale, øverste dele af trompetstrukturen. Hvorvidt fordybningen er erosionsbettinget eller blot udtryk for fremadskridende indsynkning, må stå hen i det uvisse. Vi antager, at fordybningen har været færdigdannet, og er blevet udfyldt, inden den er løftet op til det nuværende niveau (Fig. 17). Hvis denne tolkning holder stik, indebærer det, at der er sket hævnning af Brandlund-strukturen i Kvartær. Alderen af fordybningens fyld er ukendt, men Saale kunne være en mulighed.

Et lignende udviklingsforløb kan tænkes at forklare tilstedeværelsen af relativt tykke kvartære aflejringer, som iflg. Koch's (1989) beskrivelser, afskærer brunkulsforkomsterne i den NV-lige del af Lavsbjerg Bakkeø.

Sammenfattende tegner der sig for tiden efter Danien et tektonisk udviklingsforløb, som overordnet er styret af dextrale sideværts bevægelser i et strøg langs nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen. Som et vedholdende karaktertræk udvikles der bassiner som følge af transtension langs dette strøg. I en periode, som falder efter Sen Miocæn, og som strækker sig ind i Kvartær, dannes der – måske efter en mindre ændring i de kinematiske forhold – lokale hævningsstrukturer i form af trompetstrukturer og simple domestrukturer. Det sker muligvis sideløbende med dannelsen af sænkingsstrukturerne, og måske helt frem til i dag.

I det midtjyske område er jordskælv meget sjældne og svage i historisk tid. De tektoniske processer, som finder sted, må altså være overvejende aseismiske. Dette er i overensstemmelse med resultater af studier af seismicitet og differentielle landhævninger i det Baltiske Skjold (Slunga 1989). Disse undersøgelser har ført til den opfattelse, at den overvejende del af de forkastningsbevægelser, hvortil de differentielle landhævninger henføres, finder sted, uden at der fremkaldes målelige jordskælv.

12. Tektonik som medvirkende faktor ved landskabernes udformning

De hermed fremlagte data og overvejelser viser, at forståelse af landskabsdannelsen kræver, at man udover sedimentologiske og glacialgeologiske aspekter inddrager tektoniske betragtninger. En fuldt tilfredsstillende vurdering af betydningen af de tektoniske processer er formentlig vanskelig at opnå. Den vil kræve målrettede undersøgelser baseret på mere systematiske og detaljerede observationer end dem, vi

har haft til rådighed. Det foreliggende materiale er dog tilstrækkeligt til, at der på grundlag af præcisionsniveaulementerne kan foretages foreløbige, begrundede skøn over størrelsen af det tektoniske bidrag til dannelsen af nogle af landskabsformerne. Desuden kan den tektoniske model bruges som udgangspunkt for forståelsen af landskabernes strukturering.

Observationerne fra hedesletten nord for Brande danner fundamentet for den konklusion, at de højdeændringer, der er målt ved gentagne præcisionsniveaulementer, er vore dages udtryk for en tektonisk aktivitet, som med varierende intensitet har stået på igennem hele Kænozoikum. Hedeslettens opdeling i afsnit med forskellige niveauer er dokumenteret med topografiske data, og den tektoniske baggrund er belyst ved seismiske profiler. Den forskel i vertikal flytningshastighed, som er målt på tværs af grænsen mellem to afsnit, giver ikke blot et øjebliksbillede, men repræsenterer antagelig en tilstand, som har hersket over lang tid og i hvert fald siden hedeslettens dannelselse. Denne antagelse bygger på følgende ræsonnement: beregninger baseret på en forudsætning om, at de nuværende, observerede forskelle i vertikale flytningshastigheder er konstante tilbage i tiden, fører til skøn af dannelsesalderen for terrænspringene, som svarer nogenlunde til alderen af hedesletten. Eftersom hedesletten i udgangspunktet var en praktisk taget plan og jævnt hældende flade, tages dette som udtryk for, at flytningshastighederne har været nogenlunde uændrede i tiden siden hedesletten blev færdigdannet. Antages det, at dette er generelt gældende, betyder det, at præcisionsniveaulementerne åbner muligheder for kvantitative skøn over landskabernes tektonisk betingede forandringer i Sen- og Postglacial tid.

Hedeslettens trappe-relief anses altså for – med den sikkerhed som de foreliggende data betinger – at kunne klassificeres som dannet ved aktiv tektonik. De store ådale med Brande Å, Skjern Å og Holtum Å – som er lokaliseret på grænserne, dvs. over forkastningerne mellem hedeslettens forskellige afsnit – må også henregnes til landskabselementer, dannet som følge af aktiv tektonik. Også udformningen af dalenes langsprofiler kan være påvirket af tektonik. Den erosion, som har frembragt ådalenes nuværende form har åbenbart fulgt forkastningerne. Dalene kan muligvis oprindeligt være anlagt som små gravsænkninger mellem hovedforkastningerne og hermed parallelt strygende antitetiske forkastninger. Overfladeafstrømningen har så i tidens løb ved erosion omdannet disse små tektoniske lavninger til de store dale, som vi kender i dag. Den hastighed hvormed erosions- og aflejringsprocesser er i stand til at tilpasse åernes langsprofiler til erosionsbasis kan, som vist med Brande Å-dalens knækkede langsprofil, åbenbart ikke altid hamle op med de tektonisk frembragte deformationer.

Terrænstigningen mellem hedesletten og det østfor liggende bakkeland, dvs. terrænstigningen hen over hovedstilstandslinien, anses også for at indeholde en

tektonisk komponent. Baggrunden for denne vurdering er primært præcisionsnivelementernes afsløring af, at der siden 1950 er sket en forøgelse på ca. 5 cm af højdeforskellen mellem hedesletten og bakkeland øst herfor. I Top Kalk- og Basis Neogen-niveauerne optræder desuden fleksurer, hvor lagene bøjes ned mod vest. Spørgsmålet er, om det nuværende terræn i det væsentlige blot udgør en passiv drapering over en tidligere dannet fleksur, eller om terrænet er under aktiv tektonisk omdannelse. Ud fra den betragtning, at alle deformationer i området er sider af samme tektoniske system, og med henvisning til fortolkningen af hedeslettens tektoniske udvikling, forekommer det rimeligt at antage, at den observerede højdeforandring er et øjebliksbillede af en længerevarende udvikling, som i øvrigt er forårsaget af bevægelser i den normalforkastning, som forsætter Basis Zechstein-fladen.

Antages det, at ændringen i hævningshastigheden er nogenlunde konstant i tidens løb, som på hedesletten, og ses der bort fra, at der er sket tillæg og fjernelse af sedimenter på hedesletten og i bakkelandet, kan det anslås, at ca. 20 m af den nuværende terrænstigning på ca. 50 m er frembragt ved tektonisk deformation i Sen- og Postglacial tid.

Relieffet i de bakkeøer, hvor der findes seismiske profiler, afspejler ret nøje relieffet i Basis Neogen- og Top Kalk-fladerne. I modsætning hertil er forholdet mellem terrænet og Basis Kvartær-fladen mere kompleks. I nogle tilfælde er der kongruens (Blåhøj Bakkeø, Nørlund Bakkeø, Ejstrup Bakkeø og muligvis Skovbjerg Bakkeø), mens der i andre er dybe nedskæringer i præ-Kvartæret under bakkeøerne (Brandlund Bakkeø og Lavsbjerg Bakkeø). Der er ingen tvivl om, at ialtfald nogle af bakkeøerne (Lavsbjerg Bakkeø og Skovbjerg Bakkeø ved Arnborg) er opstået ved lokale hævnings, som har fundet sted efter Sen Miocæn. Hvorvidt bakkeøerne blot udgør passive draperinger hen over sen tertiære strukturer eller om de repræsenterer antiklinaler/domestrukturer, som er dannet i løbet af Kvartær, har kun kunnet overvejes ud fra løse betragtninger, fordi der ikke findes stratigrafiske oplysninger om de sedimenter, som dækker bakkeøerne. Relationerne mellem bakkeøernes relief og overfladen af de miocæne aflejringer er taget som tegn på, at den tektoniske dannelseshistorie strækker sig langt ind i Kvartær. Hedeslettesandet pålejrer flanken af Lavsbjerg Bakkeø, hvilket tolkes som udtryk for, at bakkeøen eksisterede, da hedeslettesandet fra Weichselisens afsmeltning blev aflejret. Der er dog principielt ikke noget i vejen for, at bakkeøen har fortsat sin vækst også efter afsmeltningen. I præcisions-nivelementerne hen over Skovbjerg Bakkeø mellem Arnborg og Herning findes en indikation på, at noget sådant kan være tilfældet. Her antydes en ekstraordinær hævning i forhold til hedesletten på ca. 0,3 mm/år svarende til ca. 5 m siden afsmeltningstiden. Endelig åbner den tektoniske model, hvori kileformede forkastningsblokke spiller en hovedrolle, mulighed for at forstå samtidig dannelse af bakkeøer (kompressionsstrukturer) og lav-

ninger på hedesletten (ekstensionsstrukturer) som dannelsesmæssigt samhörige fænomener.

En del terrænformer, som ellers vanskeligt kan eller har kunnet forklares ud fra traditionelle synsvinkler, synes at kunne finde en forklaring i lyset af den foreslåede tektoniske model. En betragtning af hedesletten ud fra en tektonisk synsvinkel viser sig således at kunne rumme en nøgle til forståelse af en hel række geologiske problemer, som tidligere er beskrevet i tilknytning til hedesletten (Madsen 1926; Milthers 1929, 1939).

I beskrivelsen til kortbladet Brande (Milthers 1939) fremhæves det, at den smalle strimmel hedeslette, som ligger mellem Brande Å og nordflanken af bakkeøerne syd herfor, -"når op til en Højde af 65-70 m, en usandsynlig stor Højde, som naturligst faar sin Forklaring ved, at Isdækket en Tid har været presset helt frem til Højlandet ved Brandlund, og at der Syd derfor er bleven opstuvet Smeltevandsmasser,..."

I den tektoniske model kan fænomenet forstås ved at antage, at området syd for Brande Å er hævet 10-20 m i forhold til hedesletten nord for åen. De seismiske profiler DNJ 17 og 22, som begge krydser Brandlund Bakkeø og hedesletten nord for, viser, at bakkeøen er det terrænmæssige udtryk for trompetstrukturen (Fig. 4 og 7). Den højtliggende strimmel af hedeslette langs bakkeøen kan rimeligvis betragtes som hørende til trompetstrukturens nordflanke.

Den del af hedesletten, som ligger mellem Skovbjerg Bakkeø og Nørlund Bakkeø, blev undersøgt i forbindelse med udarbejdelsen af kortbladet Brande (Milthers 1929, 1939). Milthers hæfter sig her ved "to, hver for sig ejendommelige, Forhold".

(1) Det første forhold vedrører Søby Sø (se Fig. 1). Tilstedeværelsen af en sø på hedesletten indebærer i Milthers' fortolkning, at der på søens sted har ligget dødis, som efter bortsmeltning har fremkaldt den lavning, hvori søen nu findes. Andre undersøgelser, bl.a. undersøgelsen af de interglaciale moser ved Herning (Jessen og Milthers 1928), fører Milthers til den slutning, at Weichsel-isen ikke har bredt sig så langt vestpå. Søens dannelse henføres derfor til dødis fra Saale-isen.

(2) Det andet forhold har med Fjederholt Å at gøre. Denne å afvander den nordlige del af hedesletten (Fig. 1). Åen løber fra hedesletten direkte ind i Skovbjerg Bakkeø ved Fjederholt. Nogle kilometer inde i bakkeøen løber den sammen med Rind Å, som ved Arnborg slutter sig til Skjern Å. På strækningen i Skovbjerg Bakkeø findes ingen terrasser svarende til hedesletten langs Fjederholt Å. Dette førte Milthers (1929, 1939) til den konklusion, at dalen i Skovbjerg Bakkeø først er blevet åbnet efter hedeslettens dannelse. Problemet med Fjederholt Å blev egentlig allerede rejst af Madsen (1926), som dog ikke havde noget forslag til løsning af problemet.

Ved kombination af argumentationerne fra de to

grupper af observationer drager Milthers den slutning, at hedesletten mellem Nørlund og Skovbjerg Bakkeøerne ikke er dannet i forbindelse med afsmeltningen af den sidste indlandsis (Weichsel-isen), men derimod i forbindelse med afsmeltningen af den næstsidsste indlandsis (Saale-isen). Milthers fremhæver et problem ved denne opfattelse, nemlig at der ikke i Søby Sø har kunnet påvises søaflejringer fra Eem Interglacialtiden. På kortbladet angives dog, at hedesletten er dannet i forbindelse med næstsidsste nedisning (Saale-nedisningen).

Eemaflejringer er ikke siden Milthers' artikel blevet påvist i Søby Sø. I forbindelse med brunkulstiftersøgningen, blev der i 1947 udført boringer ude i søen, men der fandtes ingen Eem aflejringer. Det er derfor meget vanskeligt at acceptere en Saale alder for denne del af hedesletten. Hertil kommer, at der ikke kan påvises entydige erosionsfænomener på grænsen mellem de to hedesletteafsnit.

I nyere undersøgelser af indlandsisens udbredelse i Weichsel (Larsen og Kronborg 1994) peges der på den mulighed, at isen i en relativ tidlig fase af Weichsel nåede ud i Vestjylland. Tidspunktet skønnes ud fra foreløbige vurderinger at ligge omkring 70.000 år før nutiden. Såfremt det kan antages, at søbassinet er dannet over dødis fra disse tidlige Weichsel-nedisninger, så kan det forklare manglen på Eem aflejringer i søen, men det forekommer stadigvæk hypotetisk, at hedesletten mellem Skovbjerg Bakkeø og Nørlund Bakkeø skulle være ældre end de øvrige hedesletter i området.

I lyset af den tektoniske model kan de to problematiske forhold anskues som følger:

(1) Søby Sø kan tænkes at være dannet ved indsynkning på samme måde, som beskrevet for det kileformede område mellem Brande Å og Skjern Å. Hvis den kileformede blok mellem de to åer i den spidse vestende var sunket under grundvandsspejlet det pågældende sted, så ville der også her findes en sø med omtrent den samme trekantede form, som Søby Sø. Hypotesen om Søby Sø's dannelse ved tektonisk indsynkning lader sig afprøve ved detaljeret kortlægning af veldefinerede stratigrafiske referenceflader som f.eks. brunkulslagene. Koch's (1989) observationer af brunkullenes niveaumæssige beliggenhed ved Søby Sø giver allerede en bestyrkelse af hypotesen. I et N-S profil umiddelbart øst om Søby Sø ses således et relativt brat fald i dybden til brunkulslagene umiddelbart øst for den Ø-V gående sydside af søen. Faldet er i retning mod nord og på ca. 10 m, hvilket er sammenligneligt med søens dybde. Grænsen mellem Gram-ler og Hodde-ler vil formentlig være endnu mere velegnet til at af- eller bekræfte forestillingen om tektonisk indsynkning.

(2) Problemet med Fjederholt Å kan muligvis også løses ved at betragte området fra en tektonisk synsvinkel. Som det fremgår af bl.a. de kort, som er udarbejdet for kalkoverfladen og for Basis Neogen (Fig.

11 og 13), så ligger det kileformede område mellem Fjederholt Å og Rind Å (Fig. 1) i en gravsænkning afgrænset af to normalforkastninger med SØ-NV-lige retninger. Som vist i Fig. 15 ligger Rind Å i en strukturelt betinget lavning, som er anlagt over den SV-ligste normalforkastning. Datagrundlaget ved Fjederholt Å er utilstrækkeligt, men som det fremgår af Fig. 15 ligger Fjederholt Å over den nordøstlige normalforkastning. Det er derfor nærliggende at forestille sig, at det er indsynkning relateret til denne forkastning, som har gjort det muligt for Fjederholt Å at bane sig vej fra hedesletten ind over bakkeøen, hvor den så er løbet sammen med Rind Å.

Tracéen med præcisionsnivelementer forløber næsten parallelt med Rind Å, men den krydser Fjederholt Å et par km øst for sammenløbet med Rind Å (Fig. 21). Som det fremgår af Fig. 22 foregår der i vore dage en relativ sænkning på ca. 0,4 mm/år af terrænet nord for Fjederholt Å. Det antages, at denne ændring er udtryk for den nuværende bevægelse i forkastningen.

Fra vel undersøgte områder med aktiv sideværts tektonik beskrives en échelon-ordnede strukturer som et karakteristisk træk (Wilcox et al. 1973; Aydin og Nur 1982). Et andet karaktertræk kan være forekomst af systemer af ikke-parallele forkastninger, som beskrevet ovenfor.

I det undersøgte område kan der mange steder iagttages landskaber, som er præget af en échelon-ordnede bakker og dale. Som eksempel skal her kun peges på Skjern Å-dalen ved Rørbæk Sø og Kulsø sydvest for Nr. Snede (jf. Fig. 1 eller 21). Dalen har her et siksak-forløb, hvor dalen med Kulsø er forskudt ca. 1 km mod sydvest i forhold til dalen med Rørbæk Sø. Et sådant forløb kan muligvis nok forklare ud fra glaciologiske betragtninger, men vi anser det for mere rationelt at betragte forløbet ud fra en tektonisk synsvinkel. En échelon-forløbet kan her på simpel måde forstås som opstået ved erosion i et en échelon-ordnet sæt af forkastninger. Hvorvidt det forholder sig sådan, kan imidlertid ikke eftervises med de foreliggende data.

13. Konklusion

I Brande-området har der budt sig sjældent gode muligheder for at studere den kænozoiske lagserie og dens sammenhæng med den dybere undergrunds strukturer. Hovedudbyttet af de hermed fremlagte observationer og overvejelser er for det første erkendelsen af, at der *igennem hele Tertiær og Kvartær har været tektonisk aktivitet i området, og at denne aktivitet i det væsentlige har udspillet sig i tilknytning til sideværts forskydninger*. For det andet erkendelsen af, at *den tektoniske aktivitet har en betydelig, tildels kvantificerbar andel i struktureringen af landskaberne*.

Den traditionelle opfattelse af tiden for den seneste egentlige tektoniske aktivitet i det danske område peger på inversionstektonikkens afsluttende fase i Paleocæn (Ziegler 1990). Ganske vist er der beskrevet en omfattende hævningsbegivenhed, som har berørt de østlige dele af danske område i Sen Tertiær (f.eks. Japsen 1992, Jensen og Schmidt 1992; Jensen og Michelsen 1992), men effekten af denne hævning er kun kendt i regional skala. Tektonisk aktivitet i Kvarter har været foreslået i talrige nyere arbejder. Kronborg et al. (1978) har beskæftiget sig med Mossø-dalen. Dette arbejde er af særlig interesse her, for det første fordi det er det hidtil eneste arbejde, som antager sideværts forkastninger som potentiel landskabsdannende faktor, og for det andet fordi det vedrører et område i nærheden af det her betragtede. Kronborg et al. (1978) antager, at Mossø-dalen er dannet som en forkastningsbettinget depression i forbindelse med sideværts forskydning langs omtrent N-S-gående forkastninger med km-store horisontalforskydninger. Hvorvidt dette system er foreneligt med det her beskrevne, kan ikke afklares. Dertil er datadækningen i området mellem det her undersøgte område og Mossø-dalen utilstrækkelig. Antagelsen af store N-S-gående horisontalforskydninger synes dog at være svært foreneligt med forestillingen om, at hovedforkastningszonen løber i Vinding Brudzonen langs nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen.

Vi føler os dog overbeviste om, at den form for tektonisk aktivitet, som er fundet i Brande-området, ikke blot er et lokalt fænomen. Vi mener, at det er rimeligt at formode, at lignende tilstande er at forvente langs hele nordflanken af Ringkøbing-Fyn Ryggen. Forholdene ved Brande er muligvis noget komplicerede pga. den tværgående Brande Grav. Tilsvarende komplikationer kan antagelig forventes i Store Bælt og sydlige Øresund, hvor Ringkøbing-Fyn Ryggen helt eller delvist gennemskæres af gravsænkninger.

Det er nærliggende at forvente, at Tertiær og Kvarter reaktivering af forkastninger også har fundet sted i andre af de gamle strukturelle hovedstrøg. Rømø Forkastningszonen, som forløber over Rømø til Als og videre til Møn (Berthelsen 1992), kunne mistænkes for at være hjemsted for reaktivering. I Sorgenfrei-Tornquist Zonen er der, som påvist for Læsø's vedkommende af Hansen (1979, 1994), sket reaktivering helt op til nutiden.

14. Tak

Vi takker GEUS for tilladelse til at anvende de seismiske data i forbindelse med denne undersøgelse. Kort- og Matrikelstyrelsen, Geodæsidivisionen takkes for have stillet resultater af de gentagne præcisionsnivelementer til vor rådighed. Tak til Jens Morten Hansen og Michael Houmark-Nielsen for kritisk gennemlæsning og værdifuld kommentering af manuskriptet.

15. Litteraturhenvisninger

- Abrahamsen, N. & Madirazza, I. 1986: Gravity and magnetic anomalies. The Enigma of the Silkeborg Gravity and Magnetic Anomalies, Central Jutland, Denmark. I: Møller, J.T.: Twentyfive Years of Geology in Århus, Geoskrifter, 24, 45–59.
- Andersen, O. B., Kejlsø, E. & Remmer, O. 1974: Secular movements within Jutland as determined from repeated precise levellings 1885–94 and 1943–53. Geodætisk Instituts Skrifter, 3, 40, 70 pp.
- Aydin, A. & Nur, A., 1982: Evolution of pull-apart basins and their scale independence. *Tectonics*, 1, 1, 91–105.
- Berthelsen, A., 1992: From Precambrian to Variscan Europe. I: Blundell, D., Freeman, R. & Mueller, S. (eds): *A Continent Revealed: The European Geotraverse*. Cambridge University Press, 153–180.
- Binzer, K. og Stockmarr, J., 1985: *Geologi i Midtjylland. Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 26 pp.
- Cartwright, J., 1990: The structural evolution of the Ringkøbing-Fyn-High. I: Blundell, D. J. & Gibbs, A. D.: *Tectonic evolution of the North Sea Rifts*, Oxford University Press, 200–216.
- Christie-Blick, N. & Biddle, K. T., 1985: Deformation and Basin Formation along strike-slip Faults. I: Biddle, K. T. & Christie-Blick, N.: *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*, SEPM Special Publication 37, 1–34.
- Cloetingh, S., Kooi, H. & Fanavoll, S., 1992: Intraplate stresses and post-Cretaceous uplift and subsidence in northern Atlantic basins. *Norsk Geologisk tidsskrift*, 72, 229–235.
- Crowell, J. C., 1984: Origin of late cenozoic basins in southern California. I: Sylvester, A.G.: *Wrench Fault Tectonics*, American Association of petroleum Geologists, Reprint Series 28, 195–209.
- Dalgas, E., 1868: *Geographiske Billeder fra Heden*. 2. Udgave 1870, 84 pp.
- Dansk Geo-servEx, 1988: Grundvandsundersøgelse og forslag til monitoringsprogram i udsprøjtningsområde for andelskartoffelmelsfabrikken "Midtjylland" – Brande. Ringkøbing Amtskommune Rapport nr. 88031/1, 8–19.
- Diblee, T. W. Jr., 1977: Strike-Slip Tectonics of the San Andreas Fault and its Role in Cenozoic Basin Evolution. I: Sylvester, A. G.: *Wrench Fault Tectonics*, American Association of petroleum Geologists, Reprint Series 28, 159–172.
- Dijkers, A. J., 1977: Sketch of a possible lineament pattern in northwest Europe. *Geologie en Mijnbouw*, 56, 4, 275–285.
- EUGENO-S Working Group, 1988: Crustal structure and tectonic evolution of the transition between the Baltic Shield and the North German Caledonides (the EUGENO-S Project). *Tectonophysics*, 150, 253–348.
- Grambo-Rasmussen, A., 1984: Danmarks Brunkulserver. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, Serie D*, 2, 67 pp.
- Hansen, J. M., 1979: Læsø's Postglaciale udvikling i relation til den Fennoskandiske Randzone. *Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1979*, 23–30.
- Hansen, J. M., 1994: Læsø's tilblivelse og landskaber – om øen der rokker og hopper. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*. 56 pp.
- Heller, E., 1961: Keld Milthers' arbejde med brunkulserver-søgningen. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*,

- 14, 447–453.
- Japsen, P., 1992: Landhævningerne i Sen Kridt og Tertiær i det nordlige Danmark. Dansk Geol. Foren., Årsskrift for 1990–91, 169–182.
- Jensen, L. N. og Michelsen, O., 1992: Tertiær hævnin og erosion i Skagerrak, Nordjylland og Kattegat. Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1990-91, 159–168.
- Jensen, L. N. & Schmidt, B. J., 1992: Late Tertiary uplift and erosion in the Skagerrak area: magnitude and consequences. Norsk Geologisk Tidsskrift, 72, 275–279.
- Jessen, K. & Milthers, V., 1928: Stratigraphical and Paleontological Studies of Interglacial Fresh-water Deposits in Jutland and Northwest Germany. Danmarks Geologiske Undersøgelse, II Række, 48, 379 pp + atlas.
- Koch, B. E., 1989: Geology of the Søby-Fasterholt area. A paleontological and geological investigation on the Miocene browncoal bearing sequence of the Søby-Fasterholt area, Central Jutland, Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Serie A, 22, 170 pp + atlas, 121 pp.
- Korstgård, J., 1996: Ekstensjonsforkastninger. Geologisk Tidsskrift 1996, 1, 1–24.
- Kronborg, C., Bender, H. og Larsen, G., 1978: Tektonik som en mulig medvirkende årsag til daldannelser i Midtjylland. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Årbog 1977, 63–76.
- Larsen, G. og Kronborg, C., 1994: Det mellemste Jylland. En beskrivelse af områder af national geologisk interesse. Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen. Geograf-forlaget, 1–272.
- Madirazza, I., Jacobsen, B. H. & Abrahamsen, N., 1990: Late Triassic evolution in northwest Jutland, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark, 38, 77–84.
- Madsen, V., 1926: Terrainformerne paa Skovbjerg Bakkeø. Danmarks Geologiske Undersøgelse 4, 1, 12, 1–24.
- Mertz, E. L., 1924: Oversigt over De sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse, II Række, 41, 49 pp.
- Milthers, V., 1929: En jydsk Hedeslette. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, 7, 303–307.
- Milthers, V., 1939: Beskrivelse til Geologisk Kort over Danmark. Kortbladet Brande. Danmarks Geologiske Undersøgelse, I Række, 18, 162 pp.
- Nielsen, L. H. & Japsen, P., 1991: Deep wells in Denmark 1935–1990. Lithostratigraphic subdivision. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Serie A, 31, 177 pp.
- Petersen, S. A., 1983: Bouguer Gravity Map Denmark (Western Part). Department of Geophysics, University of Aarhus.
- Rasmussen, L. B., 1966: Biostratigraphical studies on the marine younger Miocene of Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse, II Række, 88, 358 pp.
- Rasmussen, L. B., 1973: Dybdeboringen Nøvling nr. 1 i Midtjylland. Danmarks Geologiske Undersøgelse, III Række, 40, 164 pp.+ 8 tavler
- Slunga, R., 1989: Focal mechanisms and crustal stresses in the Baltic Shield. I: Gregersen, S. & Basham, P. W.: Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound. NATO ASI series. Series C, Mathematical and Physical Sciences, 266, 261–276.
- Sorgenfrei, Th., 1949: Nyere undersøgelser over Fyns undergrund. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, 11, 490–493.
- Sorgenfrei, Th., 1951: Oversigt over prækvartærets Topografi, stratigrafi og tektonik i området Fyn-Sydsjælland-Lolland-Falster-Møen. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening, 12, 166–171.
- Sorgenfrei, Th., 1966: Strukturgeologischer Bau von Dänemark. Geologie, 15, 6, 641–660.
- Sorgenfrei, Th. & Buch, A., 1964: Deep Tests in Denmark 1935–1959. Danmarks Geologiske Undersøgelse, III Række, 36, 146 pp.
- Ter-Borch, N., 1987: Structural map of Top Chalk Group. Skov- og Naturstyrelsen, Dansk Olie- og Gasproduktion A/S.
- Thybo, H. & Schönharting, G., 1991: Geophysical evidence for Early Permian igneous activity in a transtensional environment, Denmark. Tectonophysics 189, 193–208.
- Vejbæk, O. V. og Britze, P., 1994: "Top-præ-Zechstein". Strukturelt tidskort. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Kortserie nr. 45.
- Wilcox, R. E., Harding, T. P. & Seely, D. R., 1973: Basic Wrench Tectonics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 57, 1, 74–96.
- Woodcock, N. H. & Schubert, C., 1994: Continental Strike-Slip Tectonics. I: Hancock, P. L. Continental Deformation. Pergamon Press, 251–263.
- Ziegler, P. A., 1990: Geological Atlas of Western and Central Europe. Shell Internationale Petroleum Maatschappij BV, Den Haag, 239 pp. + atlas.

Appendiks

Dybdekonvertering af seismiske profiler

Til brug for kortlægningen af Basis Neogen og Top Kalk-fladerne er de to-vejs refleksionstider, som er aflæst på de seismiske profiler, omregnet til dybder

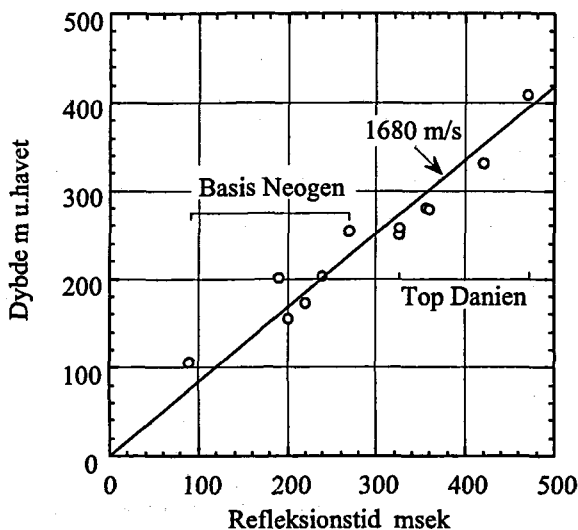


Fig. 33. Sammenhæng mellem to-vejs refleksionstider for refleksioner tolket som Top Kalk og Basis Neogen og dybder til tilsvarende niveauer i borer. Linien med hældning svarende til den seismiske hastighed 1.680 m/s er benyttet til dybdekonvertering af de seismiske profiler.

efter den lineære sammenhæng, som er vist i Fig. 33. Sammenhængen er opstillet på grundlag af dybdeangivelser for de to niveauer i borerer (jf. Fig. 3), som er lokaliseret på eller meget nær de seismiske profiler. Datamaterialet er ikke tilstrækkeligt til, at hastigheden i intervallet Top Kalk-Basis Neogen har kunnet adskilles fra hastigheden over Basis Neogen. Den gennemsnitlige hastighed på 1.680 m/sek er mindre end værdier bestemt ud fra borerer med egentlige hastighedsinformationer. Den gennemsnitlige hastighed målt i de nærmeste borerer (i Sønderjylland) med lagserier, som kan sammenlignes med lagserierne i det midtjyske område, er 1.840 m/s (Nielsen og Japsen 1991). Denne afvigelse på ca. 20% hænger formentlig sammen med, at de refleksioner, som er valgt ved tolkningen, ligger systematisk for dybt (i to-vejs tid) i forhold til de stratigrafiske niveauer i borererne. Hastigheden på 1680 m/s skal altså betragtes som fiktiv og defineret som den hastighed, der giver den bedste overensstemmelse mellem de tolkede refleksioner og dybderne i borererne.



Foreningsmeddelelser

Temamøde: Geologisk kortlægning – metoder og resultater. Fredag d. 8. november 1996 kl. 13.00 på GEUS, Thoravej 8, København.

En række foredragsholdere vil fortælle om aspekter af den geologiske kortlægning i Danmark og Grønland. Bl.a. georadarkortlægning af overfladenære aflejringer, kortlægning af Danmarks kvartære aflejringer, kortlægning af Danmarks undergrund, fotogrammetrisk opmåling af kystprofiler, samt GIS-systemer. Som afslutning på temamødet uddeles **Danmarks Geologipris 1996.**

På bestyrelsens vegne

Lars Clemmensen & Marianne Vasard Nielsen

Dansk Sedimentologisk forskningsgruppe

Årsmøde 1996 fredag d. 15. november 1996 på Geografisk Institut, Københavns Universitet, Øster Voldgade 10, kl. 9–17 med efterfølgende middag.

Der inviteres til årsmøde i Dansk Sedimentologisk Forskningsgruppe. Mødet bliver afholdt på Geografisk Institut, Øster Voldgade 10. Som sædvanlig er alle sedimentologier interesserede velkomne til at bidrage med foredrag/poster eller som tilskuer.

Alle sedimentologiske emner, akademiske eller praktiske, har interesse. Arrangørerne pointerer, at DSFG er et uformelt forum, hvor alle landets sedimentologer kan fremlægge og diskutere de emner, som optager dem netop nu. Specielt opfordres speciale- og ph.d.-studerende til at møde op. Benyt chancen for at præsentere ideer/resultater samt

for at få øvelse i at fremlægge det væsentlige af et forskningsarbejde.

Foredrag & Posters anmeldes snarest muligt og senest 1. november. Der skal ikke skrives abstract eller lignende. Husk, at taletiden på 15 minutter skal overholdes. Dias skal have 50×50 mm ydre rammer. Dobbeltprojektion er mulig. Overheadprojektor forefindes. Husk, at dine lysbilleder og overheads skal kunne læses fra bagest i auditoriet.

Tilmelding: Indsend navn, adresse og evt. foredags/poster titel til undertegnede. Husk at oplyse om du er interesseret i at deltage i den efterfølgende middag – af hensyn til bordbestilling. Vi arrangerer spisning et sted i byen til rimelige priser. NB – husk at medbringe frokostpakke (øl og vand vil kunne købes ved mødet). Tilmeldingen skal være arrangørerne i hænde senest den 1. november.

Endeligt program for mødet vil blive udsendt til alle tilmeldte umiddelbart før mødet.

Jesper Bartholdy, Geografisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Tlf: 3532 2500

Palæontologisk klub

Efterårsprogram 1996

Møderne foregår normalt tirsdag kl. 15.15 i afdelingens bibliotek (Stuen v. trappe C) evt. i Auditorium a (2. sal ml. trappe A & D).

Tirsdag d. 3. september. Jörn Thiede (gæst fra Kiel) *Plankton i fortidens polhav.*

Tirsdag d. 10. september. Anette V. Kristoffersen: *Tre små arkaiske landfugle fra Moleret.*

Tirsdag d. 24. september. Kurt Nielsen: *Foraminiferivory revisited.*

Tirsdag d. 8. oktober. Ella Hoch: *Hval på evolutionens halvvej, samt om kongressen: "Secondary adaptation to life in water" i Poitiers, Frankrig.*

Tirsdag d. 29. oktober. E. Håkansson, R. Bromley & U. Asgaard: *North American Paleontological Convention 1996 – højdepunkter og kritik.*

Tirsdag d. 26. november. A. Thorshøj & N. Skovsbo: *Alunskiferens aflejringsmiljø – oxisk, dysoxisk, anoxisk?*

Forslag til julemøde (evt. Temamøde) samt titler til februar 1997 modtages af Richard Bromley (R.G.P) pr. ca. 1. november.

Med venlig hilsen

Niels Bonde