

Naturen i Danmark, Danmarks Geologi
Under udgivelse af forlaget Gyldendal

Kapitel 7
De første aflejringer (Tidlig Palæozoikum)
Figurer


Af Bjørn Bucharth Westergaard

Foreløbig udgave april 2005

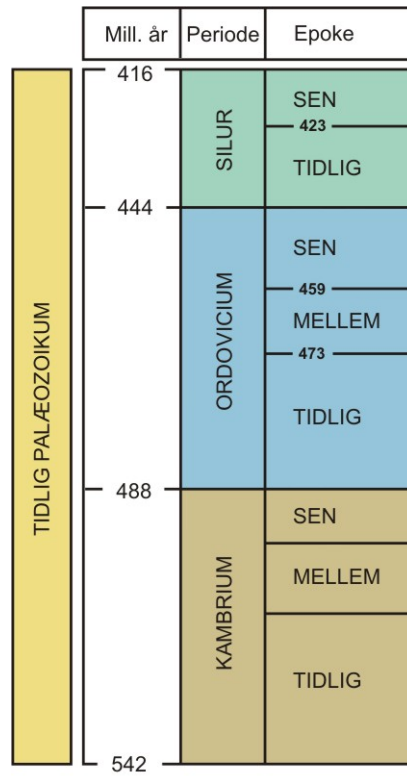
Tekst til kapitlet foreligger i særskilt fil under "*DK geologi kapitel 7*"

Den tidligt palæozoiske lagserie på Bornholm

PERIODE		FORMATIONSNAVN	Tykkelse i meter	ÆLDRE NAVNE	
SILUR	Yngre				
	Ældre	Kallholn Formation* (silure graptolitskifre)	>160	Cyrtograptus skifer ----- Rastrites skifer	
ORDOVICIUM	Yngre	Lindegård Formation*	16-21	Dalmanitina skifer/Tommarp Fm* Tretaspis skifer/Jerrestad Fm*	
		Sularp og Fjäckå Formationer*	23	Dicellograptus skifer	
	Mellem				
	Ældre	Komstad Kalk*	4 - 5	Orthoceratitkalk	
KAMBRIUM	Yngre	Alun Skifer Formation Andrarum Kalk* ----- Exulans Kalk	33	Dicellograptus skifer (3 m) ----- Øvre alun skifer (Olenidskifer)	
	Mellem			Andrarumkalk (1 m)	
				Nedre alun skifer Exulanskalk (0,5 m)	
	Ældre	Læså Formation	Rispebjerg Sandsten Led ----- Broens Odde Siltsten	3 90 - 100	Rispebjerg Sandsten ----- Grønne skifre
		Hardeberga Sandsten*		80 - 90	Balka sandsten/kvartsit
		Nexø Sandsten		110	Nexø Sandsten

 Manglende aflejringer (hiatus). * Typelokalitet i Skåne

Den tidlig palæozoiske lagsøjle på Bornholm kan opdeles i en række bjergartsenheder, kaldet formationer. Formationer har ofte navn efter lokaliteter, hvor de er udviklet særligt typisk, f.eks. Nexø Sandsten Formationen. Nogle af formationerne har typelokalitet andre steder end på Bornholm, f.eks. Komstad Formationen i det østlige Skåne. Disse formationer er markeret med * på skemaet. Underopdelinger af formationer benævnes led, f.eks. Broens Odde Leddet i Læså Formationen. Fra gammel tid har man også navngivet enhederne efter typiske fossiler, f.eks. Dicellograptus Skifer efter graptolitten *Dicellograptus*. Disse navne bliver ikke brugt i moderne opdelinger, men optræder stadig i mange oversigtsskemaer. Desuden har enkelte af enhederne endnu ikke fået moderne navne. Figuren viser den nyeste opdeling og de ældre navne, der stadig benyttes. De blå felter repræsenterer tidsintervaller, hvorfra der ikke kendes aflejringer på Bornholm, såkaldte hiati (ental: hiatus). Aflejringer fra disse intervaller kan findes i andre områder, f.eks. i Skåne eller i Osloområdet. Figuren giver også mål for tykkelser af de enkelte enheder. Tallene er omtrentlige, dels fordi lagene har varierende tykkelse forskellige steder på Bornholm, dels fordi over- eller undergrænser ofte er skjult under andre aflejringer. Den samlede tykkelse af de tidlig palæozoiske lag på Bornholm er ca. 550 m. Den type skema, som er vist i figuren, er almindeligt brugt for alle Jordens tidsperioder.



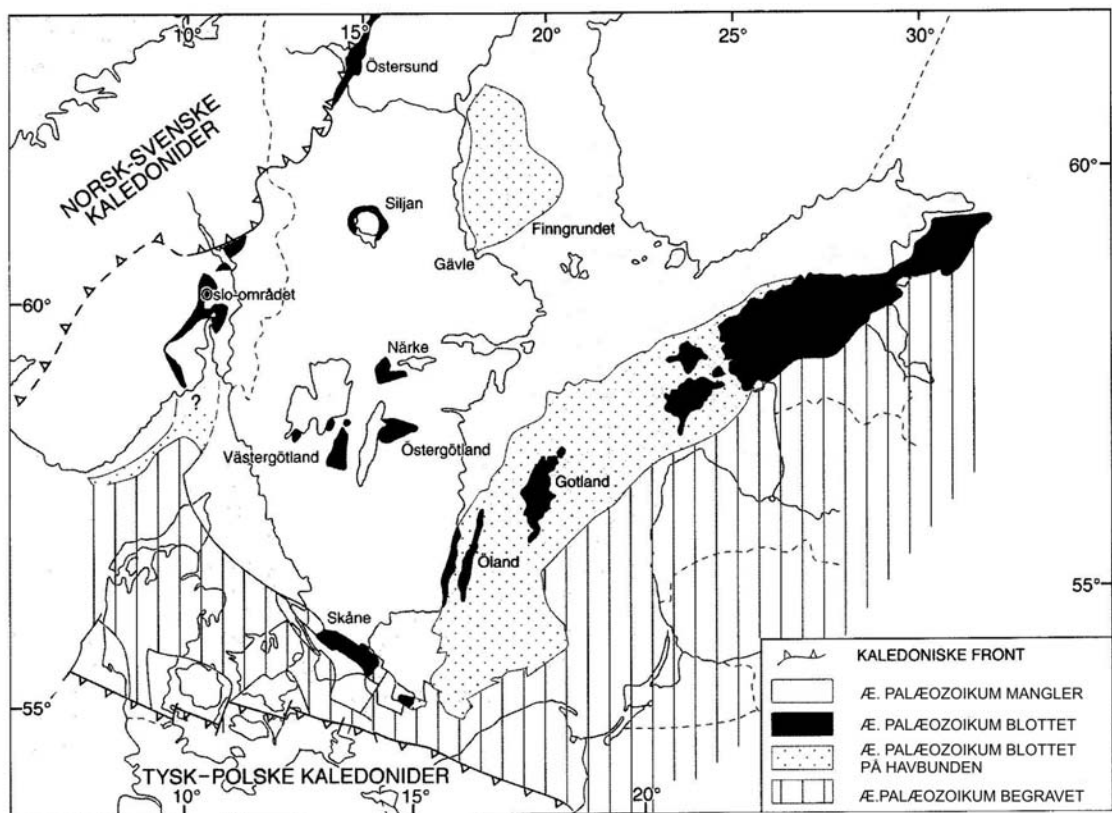
Figur 0

Tidsskema, der viser inddelingen af Tidlig Palæozoikum i perioder og epoker. Tallene er ældre i millioner år målt fra i dag. Disse tal bliver ind imellem ændret, efterhånden som dateringsmetoderne forfines. Tegning BBW.



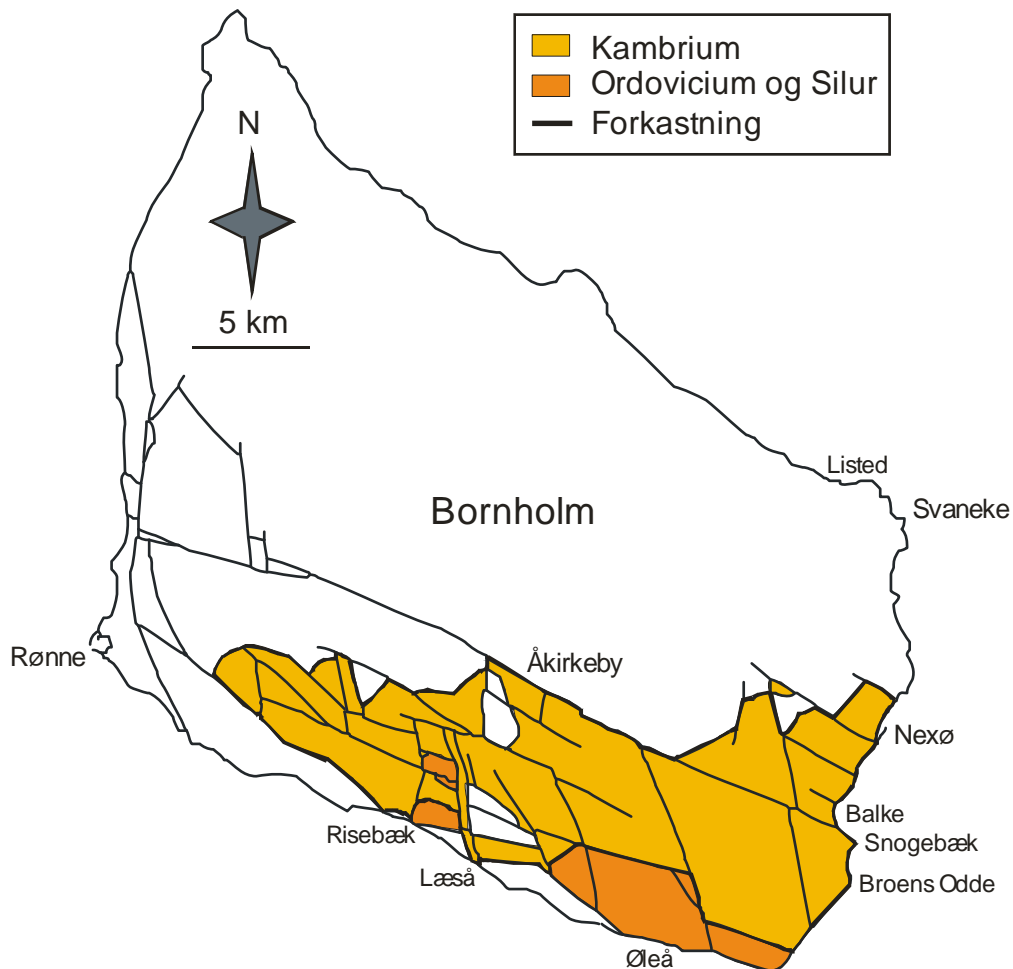
Figur 1

Kortet viser kontinentet Baltica's udseende i tidlig palæozoisk tid. Iapetus Oceanet og Tornquist Havet adskilte Baltica fra Laurentia- og Avalonia-kontinenterne mod vest og syd. Pilene angiver disse kontinenters relative bevægelse i forhold til Baltica. Laurentia svarer til nutidens Nordamerika, mens rester af Avalonia kan findes i Sydengland, Belgien og Mellemtyskland. Tegning BBW.



Figur 2

Kortet viser udbredelsen af tidlig palæozoiske lag i det sydlige Skandinavien og i de baltiske stater. De kaledoniske fronter angiver de østlige og nordlige ydergrænser for områder, der er påvirket af Den Kaledoniske Bjergkædefoldning i Silur. Kortet viser, hvordan lag fra Tidlig Palæozoikum er bevaret som rester i det skandinaviske grundfjeld i Norge og Sverige, mens de baltiske stater og Østersøen dækkes af et sammenhængende tæppe af tidlig palæozoiske aflejringer. I Danmark vest for Bornholm og i de sydlige baltiske stater er tidlig palæozoiske lag dækket af yngre aflejringer. Modifieret fra DGF, tegning BBW.



Figur 3

Kort over Bornholm, der viser udbredelsen af de tidlig palæozoiske aflejringer umiddelbart under istidsaflejringerne. Tykke, sorte streger angiver forkastninger, der afgrænser blokke af den bornholmske undergrund. De kambriske sandstenslag dominerer, mens lag fra Ordovicium og Silur er begrænset til enkelte områder på Sydbornholm. Hele det nordlige Bornholm udgøres af grundfjeld, mens der findes aflejringer fra Mesozoikum på Syd- og Vestbornholm. Tegning: BBW.



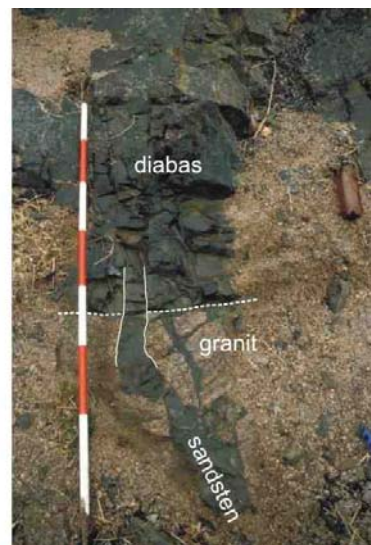
Figur 4

Boreudstyr til opboring af kerneprøver fra den nære undergrund. Boret kan nå dybder på 300 meter. Med et sådant boreudstyr kan man få oplysninger om de geologiske lag og deres aldre. Foto: BBW



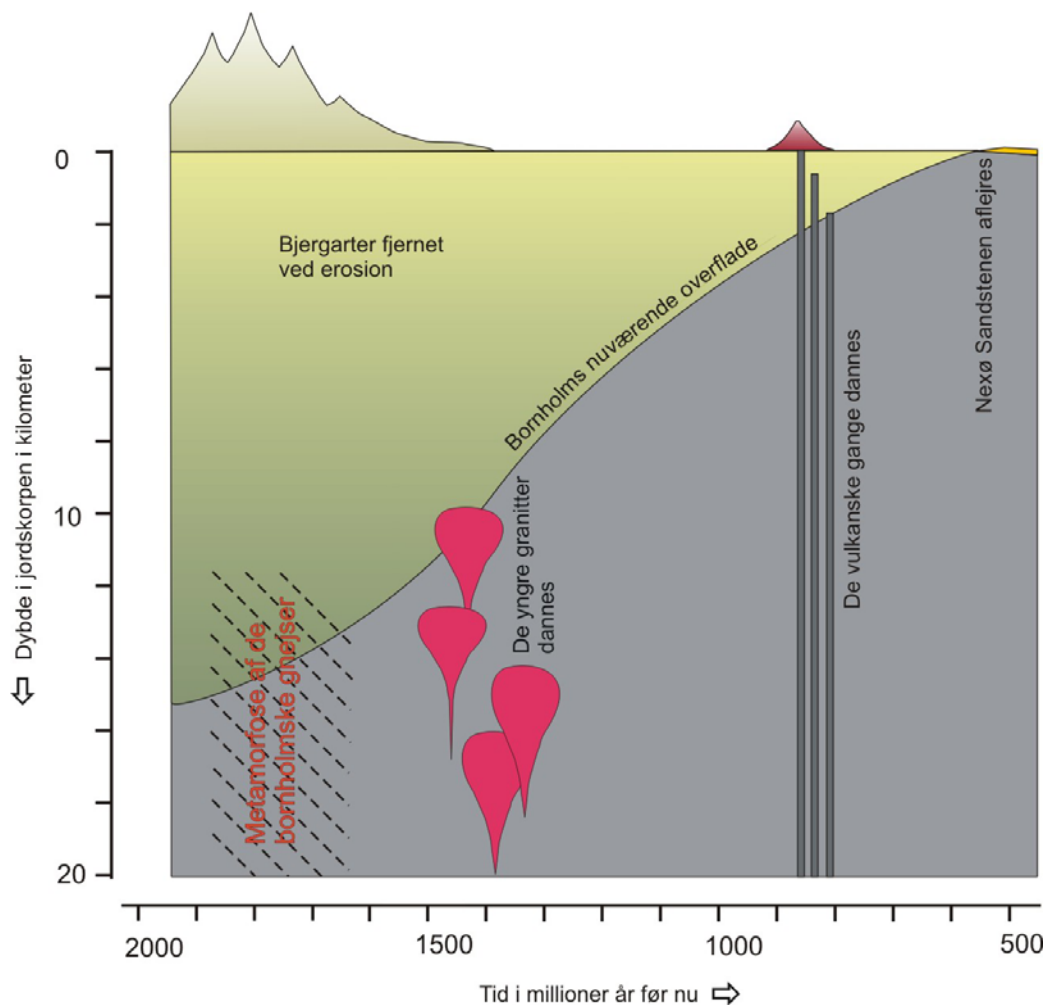
Figur 5

Kerneprøver af alunskifer i kernekasse. Prøverne er netop blevet opboret med boreriggen på figur 7-4. Denne teknologi giver en næsten ubrudt serie af kerneprøver fra de gennemborede lag, der siden kan bearbejdes i laboratoriet. Skiferen er næsten sort, mens de lysere partier i skiferen er kalksten.



Figur 6

Gule Hald ved kysten ud for Listed på Nordbornholm. Her kan man se den sorte diabas skære den røde Svaneke Granit (A) og en tidlig palæozoisk sandstensgang skære diabasen og granitten (B). Sandstenen må altså være yngre end diabasen, der igen er yngre end granitten. Foto: BBW.

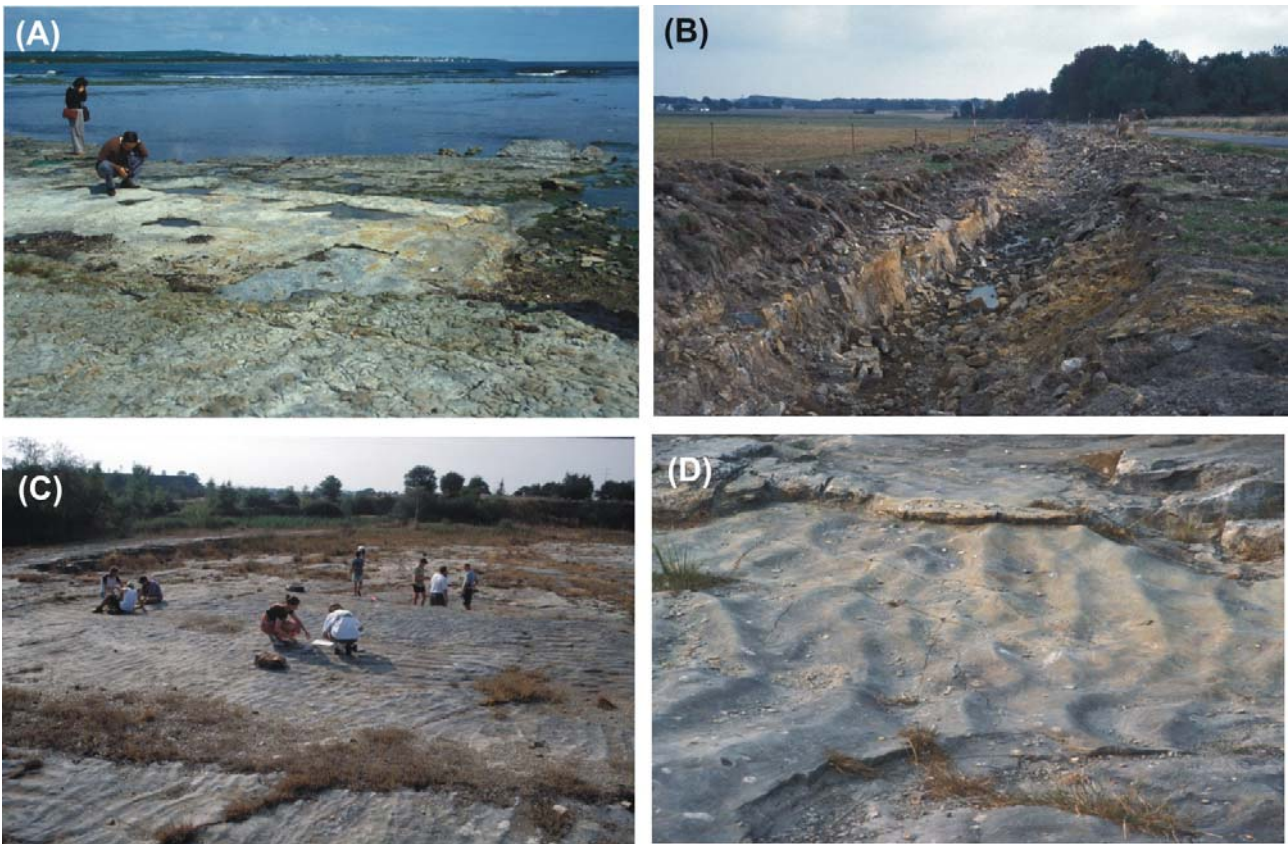


Figur 7

Diagrammet viser, hvordan Bornholms grundfjeld er blevet hævet siden dets dannelse for mere end 1700 millioner år siden. Dengang blev grundfjeldet udsat for omfattende metamorfose og foldning. Siden blev grundfjeldet gennemsat af granitter og vulkanske gange. Ved Kambriums begyndelse var grundfjeldet nederoderet til en jævn landoverflade, Det Subkambriske Peneplan, hvor Nexø Sandsten blev aflejret. Der er altså fjernet mere end 15 km bjergarter i tidsrummet fra 1700 til 500 millioner år før nu. Tegning: BBW.



Figur 8. Nexø Sandsten brydes i dag i to mindre brud vest for Nexø. Her kan den lagdelte, rødviolette sandsten ses i de to til tre meter høje brudvægge (A). Sandstenen blev aflejret på landjorden, og lodrette snit viser bækning og krydslejring, der skyldes transport af sandet i strømmende vand, sikkert på flodsletter (B). Foto: BBW



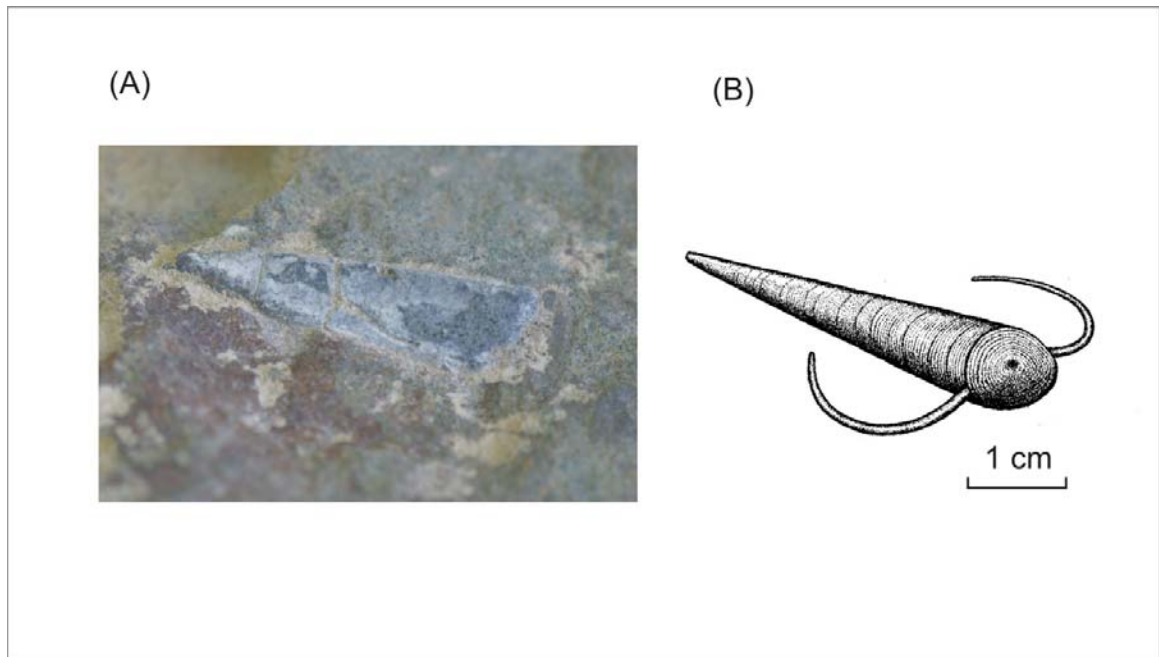
Figur 9.

Balka Sandsten på Bornholm. Den grå Balka Sandsten fra Tidlig Kambrium udgør overfladen under muldjorden i store områder af det østlige og sydlige Bornholm. Sandstenen kan ses i kystområderne på Østbornholm omkring Balka og Snogebæk, hvor den ved lavvande udgør store flader, bl.a. med sporfossilet *Diplokraterion* (A). Inde i landet er sandstenen ofte kun dækket af et tyndt muldlag, som det kan ses i opgravningen ved Pedersker (B). Bedst ses sandstenen i det gamle fattigmandsbrud ved Åkirkeby (C). Her kan den studeres i både lodrette profiler og gamle lagflader, der viser smukt bevarede strukturer fra den oprindelige havbund, f.eks. bølge- og strømribber (D).
Foto: BBW



Figur 10

Sandsten fra Broens Odde Leddet ses bedst ved ekstremt lavvande i Østersøen (A). De pudelignende former skyldes bølgenes nedbrydning af bjergarten langs systemer af lodrette svaghedszoner, såkaldte joints. Vandrette lagflader i sandstenen kan indeholde centimeterstore knolde af det sorte mineral fosforit (B). Foto: BBW.

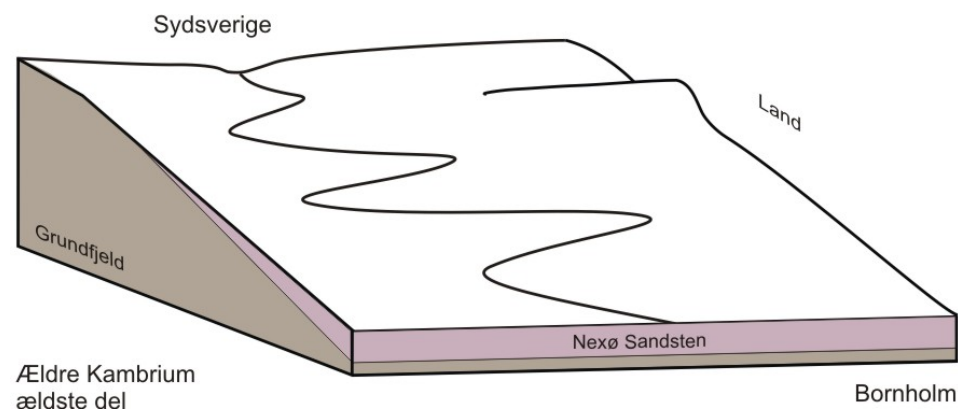
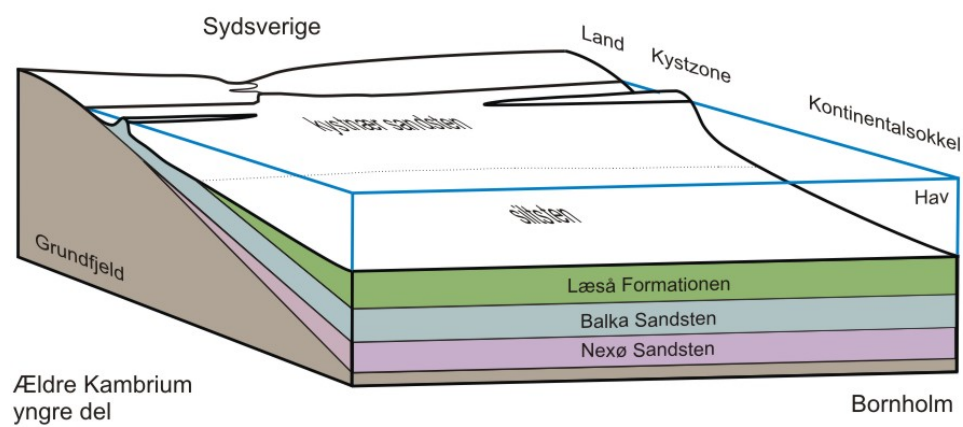
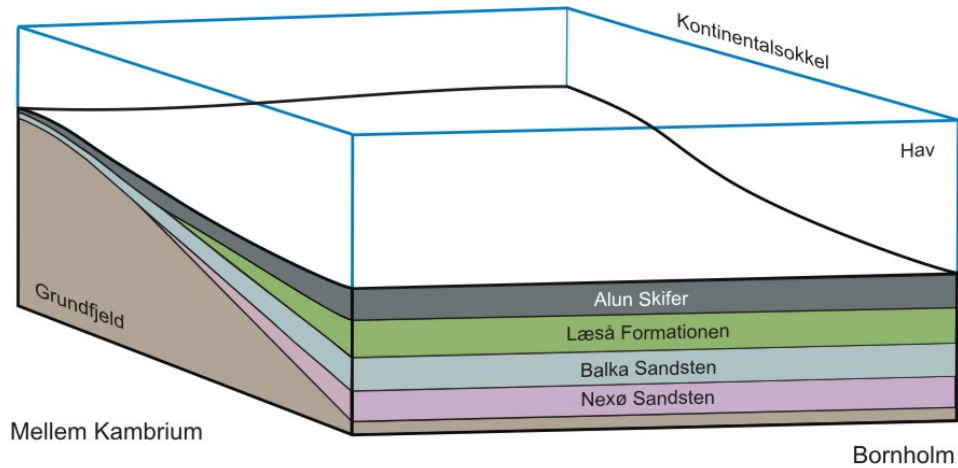


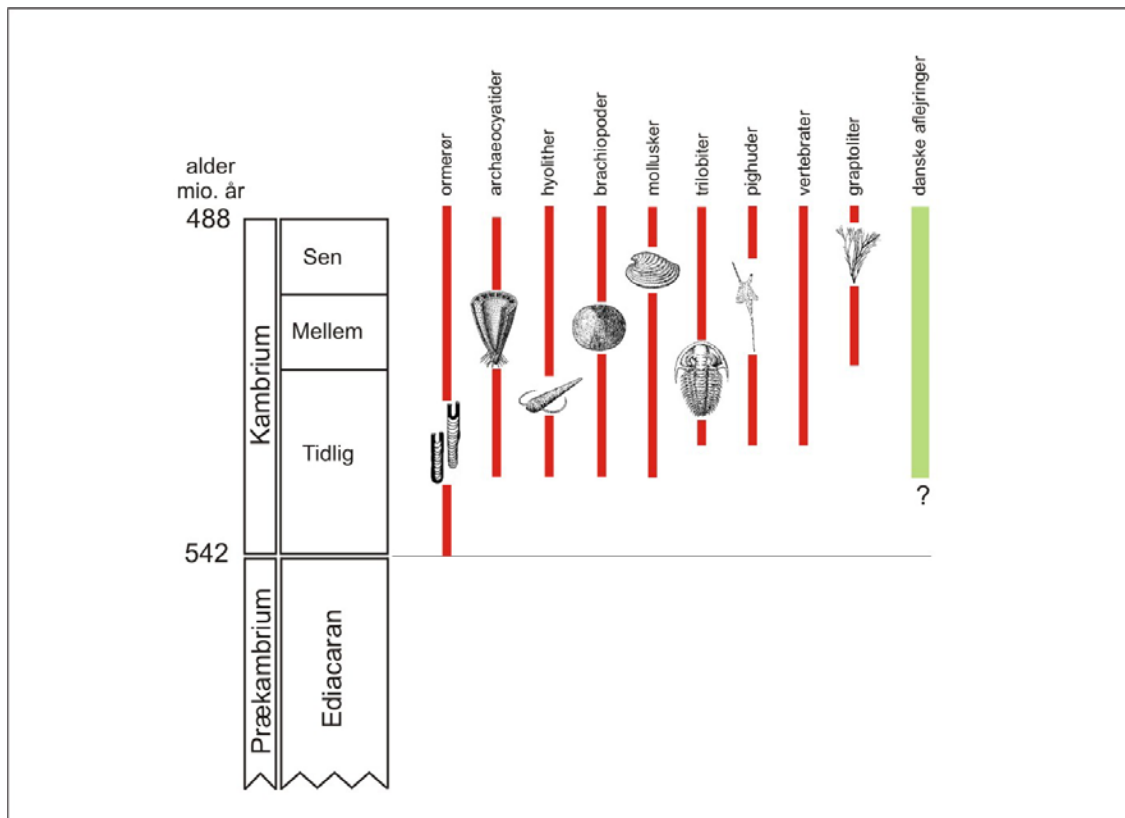
Figur 11.

Hyolither er 2-5 cm lange, kegleformede fossiler, der optræder relativt hyppigt i Broens Odde Leddet fra Bornholm. De er oftest fladtrykte og sortfarvede af fosforit. A) Foto af hyolith fra Geologisk Museums samling ca. 4 cm lang. B) En rekonstruktion af et hyolithdyr. Hyolitherne er en uddød dyregruppe med visse ligheder med moderne vingesnegle, der lever fritsvømmende i oceanerne. De er blandt de ældste skalbærende fossiler i den danske lagserie. Foto: Axel Kielland, tegning Christian Rasmussen.

Figur 12

Model over de tidlig kambriske lags fordeling i forhold til havdybde og afstand fra kysten. Modellen viser lagfølgen ved stigende havniveau. Mens Læså Formationen aflejredes på dybere vand langt fra kysten, domineredes kystzonen af sand. På figuren må Bornholm tænkes at have ligget i den dybere del længst fra land, mens kystzonen lå i Mellemsverige. Tegning: BBW.





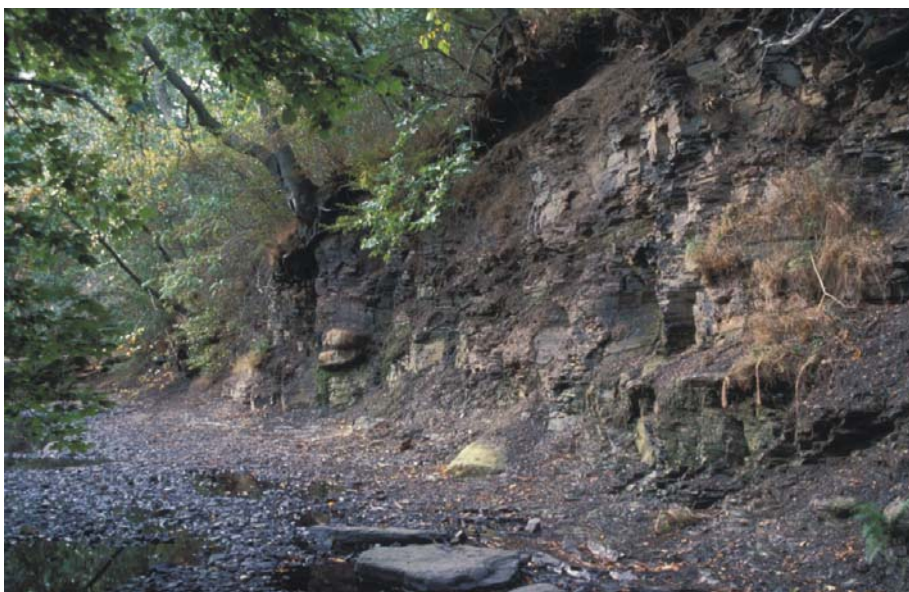
Figur 13

Den kambriske eksplosion. I begyndelsen af den kambriske periode skete der en eksplosiv biologisk udvikling på Jorden. Inden for mindre end 10 millioner år blev en række skalbærende organismer som muslinger, snegle, brachiopoder, trilobiter og pighuder udviklet. De danske aflejringer omfatter ikke de ældste dele af denne eksplosive evolution, men de mange ormerør i Balka Sandsten fra Sen Kambrium skal nok ses i denne sammenhæng. Tegning: BBW.



Figur 14

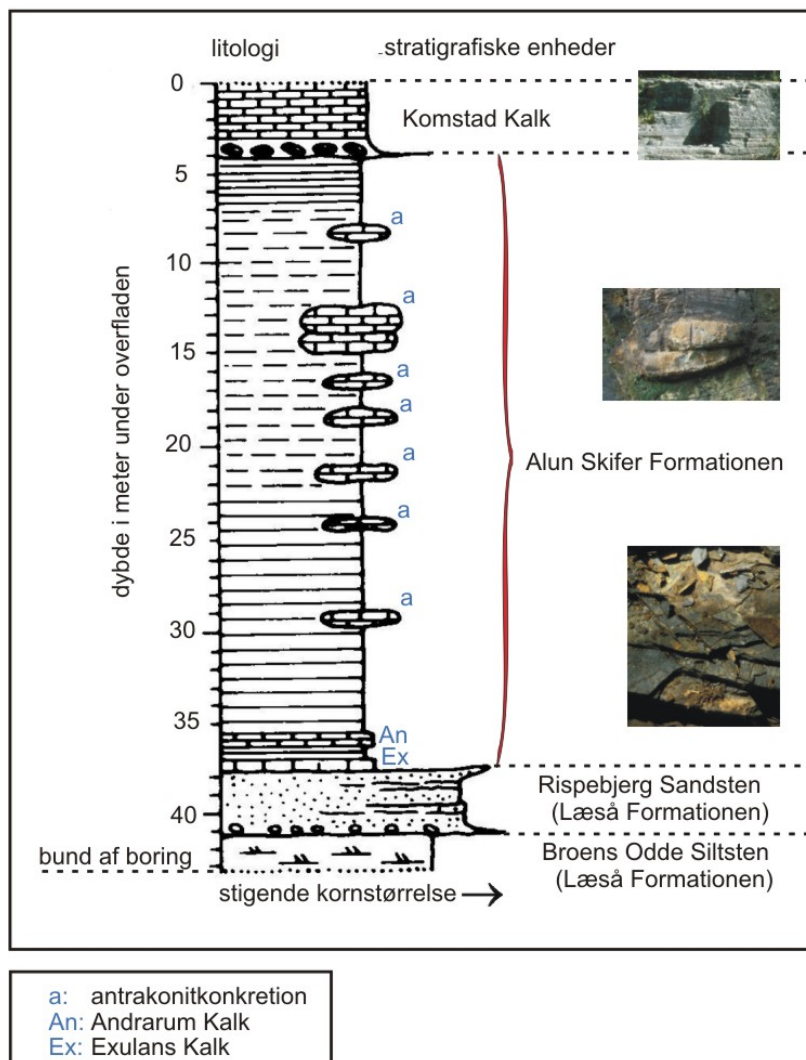
Overgangen mellem Rispebjerg Sandsten fra Tidlig Kambrium og Alun Skifer fra Midt Kambrium er i Læså markeret ved et lille vandfald, hvor den hårde sandsten har modstået vandets erosion. Alle lagene har en hældning på nogle få grader mod syd. Foto: BBW.



Figur 15

Alun Skifer Formationen på Bornholm ses bedst i blotninger langs den idylliske Læså. Bedst kendt af alle er blotningen i åbrinken langs stien mellem Vasegård og Lille Kalbygård. Her kan skiferen ses i et 3 meter højt og 30 meter langt profil med aflejringer fra flere zoner i Sen Kambrium. I profilet ses også flere store antrakonitkonkretioner. Skiferen er mørkegrå til sort i friske brudflader, men fremstår her nærmest rødbrun på grund af jernudfældninger fra forvitring af mineralet pyrit. Foto: BBW.

Skelbro 1 boringen



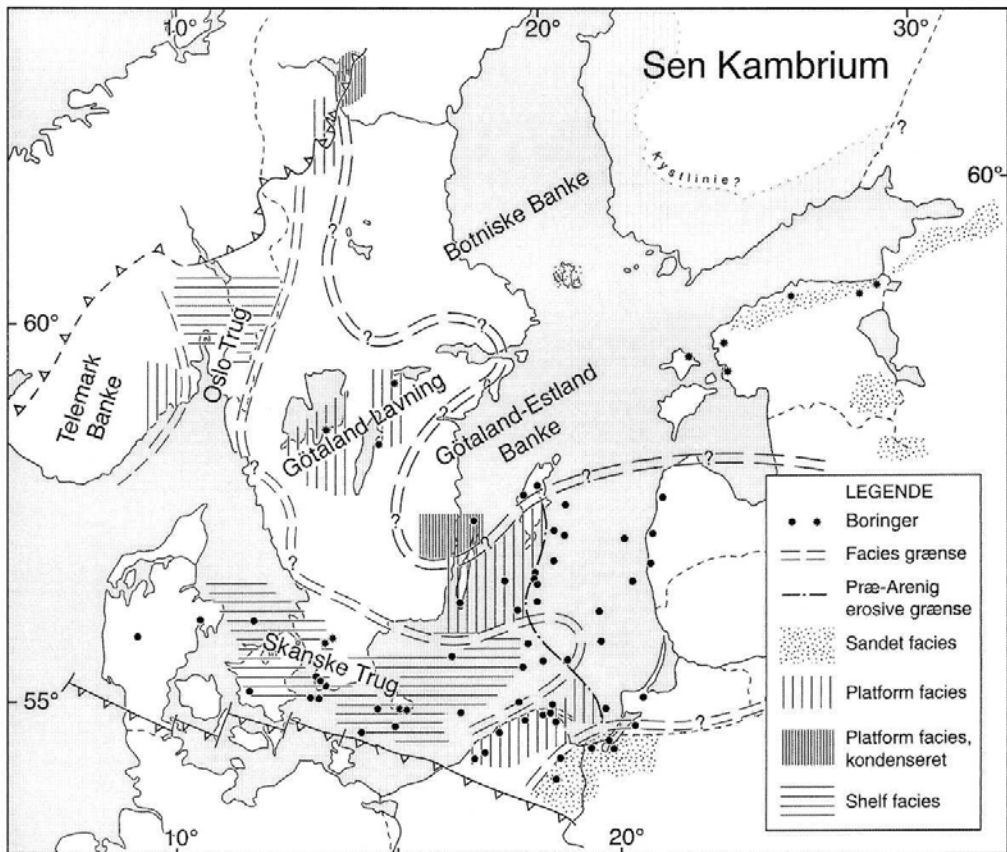
Figur 16

Alun Skifer Formationen blev i 1984 gennemboret ved Skelbro på Sydbornholm. Boringen gav det første sammenhængende billede af skiferens opbygning på Bornholm. De enkelte kerner fra boringen blev opmålt og sammensat til et samlet profil. Figuren viser også de underliggende og overliggende lag fra henholdsvis Læså Formationen (Rispebjerg Sandsten) og Komstad Kalk. Figuren er modificeret efter Pedersen, 1989.



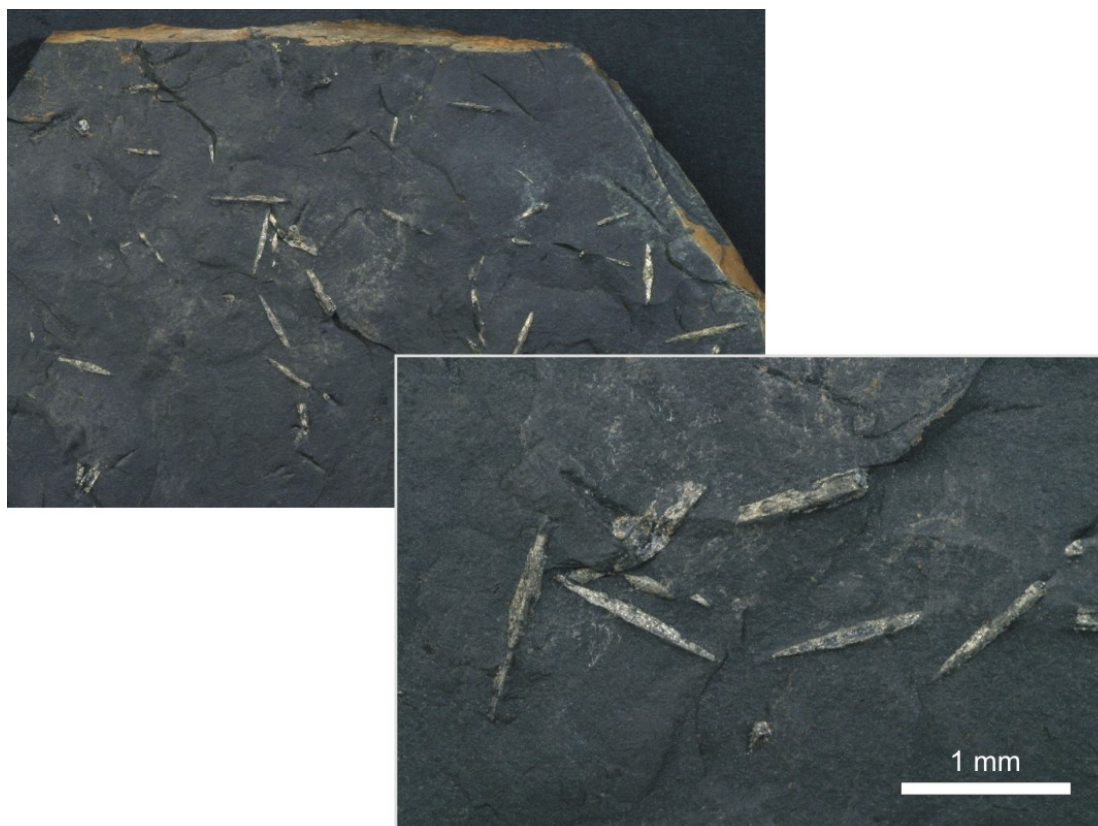
Figur 17

Antrakonitbolle fra Alun Skifer fra Sen Kambrium ved Læså på Bornholm. Antrakonitbollerne er linseformede kongrektioner, der kan blive mere end én meter i diameter. På billedet ses, hvordan skiferlagene er presset sammen omkring antrakonitkongrektionen, der altså er dannet tidligere end sammenpressningen af skiferen. Slår man på en antrakonitbolle, udvikles der en karakteristisk lugt af svovlbrinte. De kalder derfor også stinksten. Lugten stammer fra nedbrydning af olierester i kongrektionen. Antrakonitter kan være rige på fossiler af bl.a. trilobitter. Foto: BBW.



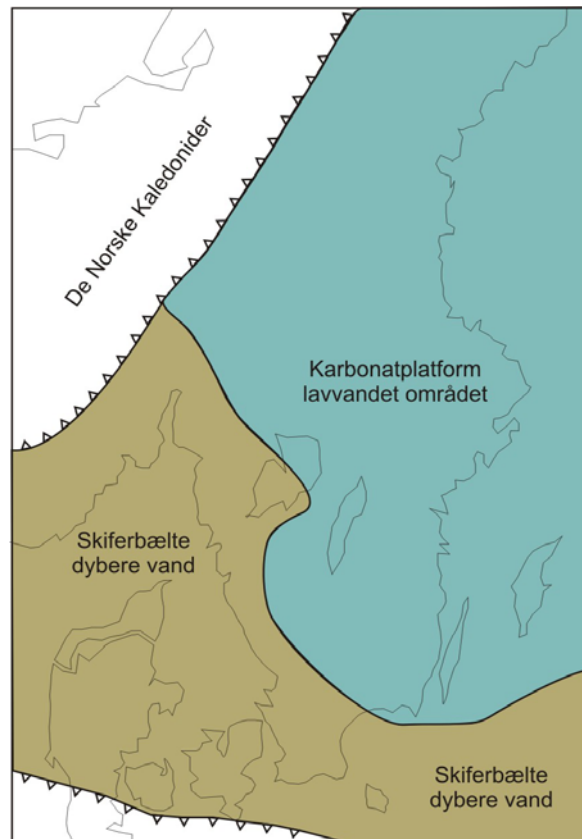
Figur 18

Kort over Alun Skifers udbredelse i det sydlige Skandinavien i Sen Kambrium. Alun Skifer er aflejret fra begyndelsen af Midt Kambrium til langt op i Sen Ordovicium, et tidsrum på mere end 20 millioner år. Figur: Modifieret fra DGF, tegning BBW.



Figur 19

Alun Skifer med tenformede pyritudfyldninger i hulrum efter opløst tungspat. Tungspat eller baryt (BaSO_4) dannedes i enkelte horisonter i Alun Skifer, ofte som tenformede eller rosetformede krystaller. Senere omdannelser, muligvis ved sulfatreducerende bakterier, førte til udfældning af messinggul pyrit. Der er altså ikke tale om aftryk efter fossiler. Foto: OBB.



Figur 20

I ordovicisk tid var aflejringsforholdene i det sydlige Skandinavien delt mellem et lavvandet område, der var domineret af kalkaflejring, og et dybere område præget af skifer. Kalkaflejringerens udbredelse var gennem det meste af Ordovicium begrænset til de centrale og østlige dele af det, der nu er Sverige og den nordlige del af Østersøen. Bornholm og Skåne lå i det skiferdominerede bælte. Den mest markante ændring i dette mønster ses i aflejringen af Komstad Kalk i slutningen af Tidlig Ordovicium, hvor kalkbjergarternes udbredelse nåede til Bornholm og det østlige Skåne. Aflejringen af Komstad Kalk skyldtes en generel sænkning af det globale havniveau. Tegning: BBW.



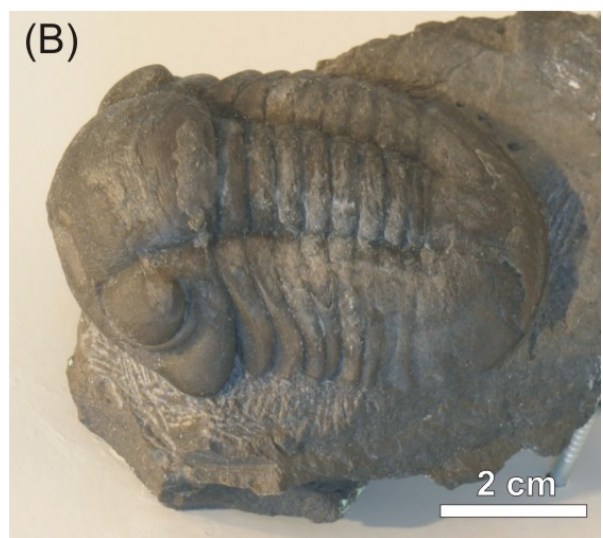
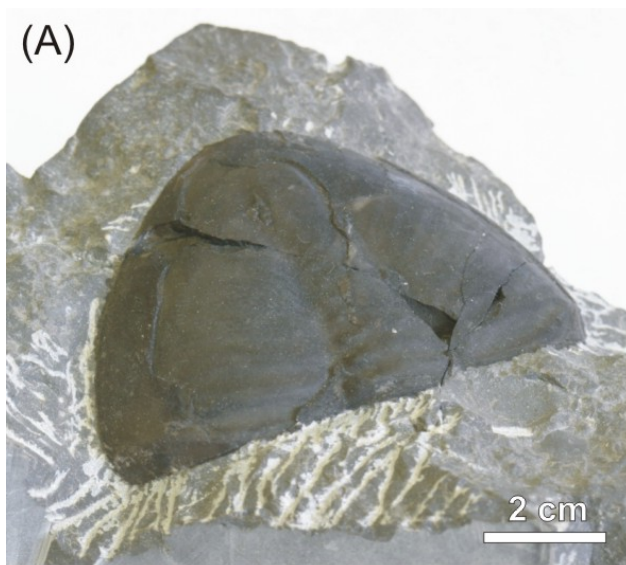
Figur 21

Limensgade ved Læså er et gammelt skifer- og kalkbrud anlagt i forbindelse med forsøgsproduktion af cement. På lokaliteten ses Alun Skifer nederst og Komstad Kalk øverst. Grænsen mellem Kambrium og Ordovicium findes i Alun Skifer ca. 2 m under den nederste kalkbænk. Grænsen kan identificeres ved de første forekomster af graptolitten Rhabdinopora. Foto: BBW.

Figur 22

Komstad Kalk ses på Bornholm bedst i det nedlagte stenbrud ved Skelbro nær Risebæk (A). Her blev der brudt kalk til cementfremstilling frem til 1920. Kalkstenen er opdelt i 5 til 10 cm tykke, vandrette bænke adskilt af tynde lerlag. Toppen af kalkstenen er afhøvlet og skuret af Kvartærs gletsjere. Bruddet benyttes bl.a. til undervisning af geologistuderende og er et yndet mål for fossilsamlere, der kan finde trilobitter og brachiopoder i de mange løse blokke foran brudvæggen (B). Nogle overflader i kalkstenen viser spor af opløsning og gravende organismers aktivitet. Disse overflader, der kaldes diskontinuitetsflader, vidner om lang tids stop i sedimentation (C).





Figur 23

Trilobitter fra Komstad Kalk. A) haleskjold af *Megistaspis*, B) helt eksemplar af *Symphysurus*. Disse to fossiler er indsamlet ved Skelbro på Bornholm og udstillet på Geologisk Museum i København. Foto: Axel Kielland.



Figur 24

Mange af de ordoviciske kalksten i det sydlige Skandinavien er rige på velbevarede fossiler. Derfor er en række lokaliteter i både Sverige og Danmark fredede, og der må kun indsamles løse fossiler ved foden af blotningerne. Vi opfordrer til at disse regler overholdes. Foto: BBW.



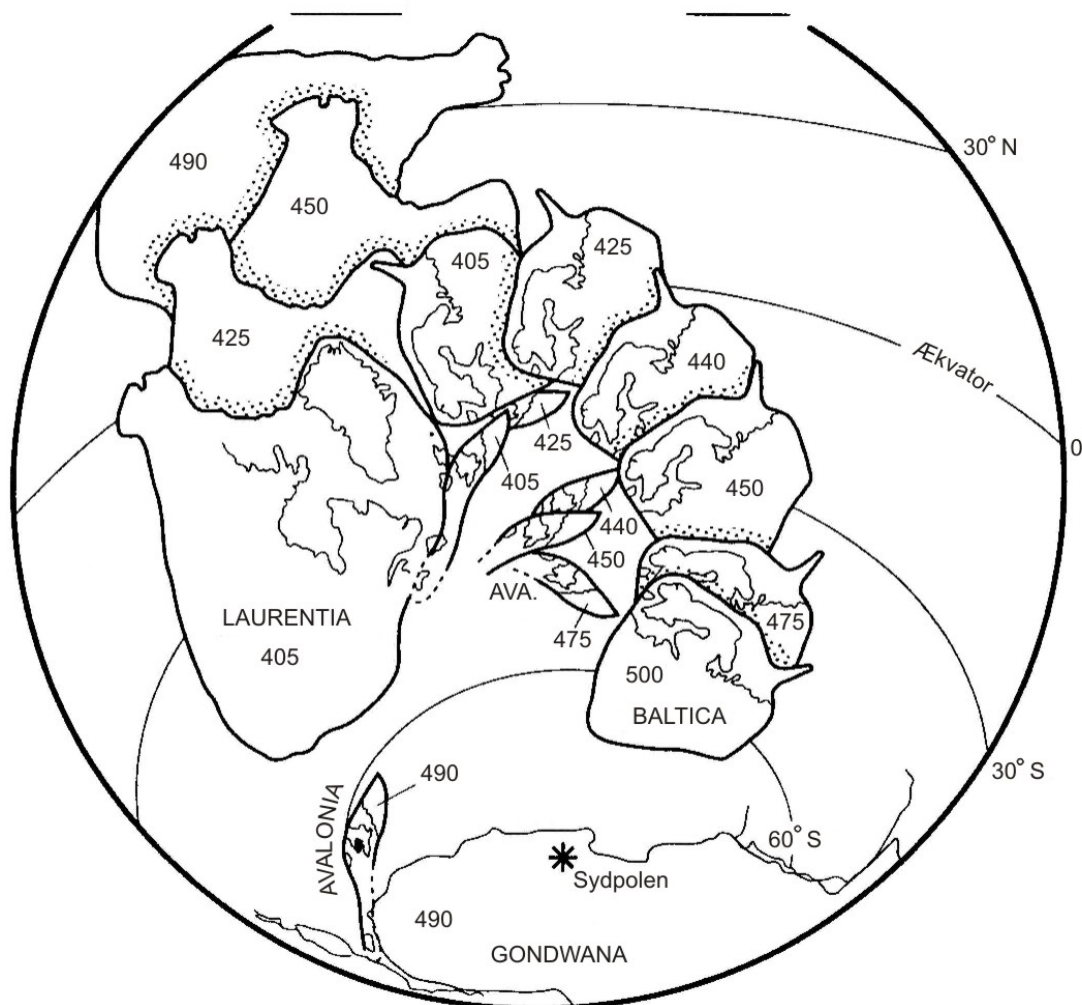
Figur 25

I Dicellograptus Skifer fra Sen Ordovicium ved Læså neden for Vasegården på Bornholm ses to lysegule lag af et blødt, leret materiale. Det er lermineralet bentonit, der består af forvittringsrester efter vulkanske askelag. De blev dannet ved omfattende vulkanudbrud langt mod nordvest. Askelag af denne type kan spores over store dele af skandinavien og muligvis også helt til det østlige USA. Det tykkeste lag, der bl.a. kan ses i boreriger fra Bornholm, kaldes Big Ben. Foto: BBW.



Figur 26

De ordoviciske og silure graptolitskifre på Bornholm ses bedst langs åerne på Sydbornholm. Dicellograptus Skifer fra Sen Ordovicium kendes fra Læså og fra en lille blotning ved Risebæk nær sydkysten. Her er udviklet et smukt vandfald i den sorte skifer (A). Risebæk løber gennem Alun Skifer længere mod nord, og forvitring af mineralet pyrit i skiferen kan i perioder føre til udfældning af rødfarvet okker på skiferens overflade. Den silure graptolitskifer (B) kendes fra Øleå, og nær Slusegård på sydkysten kan man se den grå skifer i åbunden. Her er der også mulighed for at finde graptolitter fra Silur. Foto: BBW.



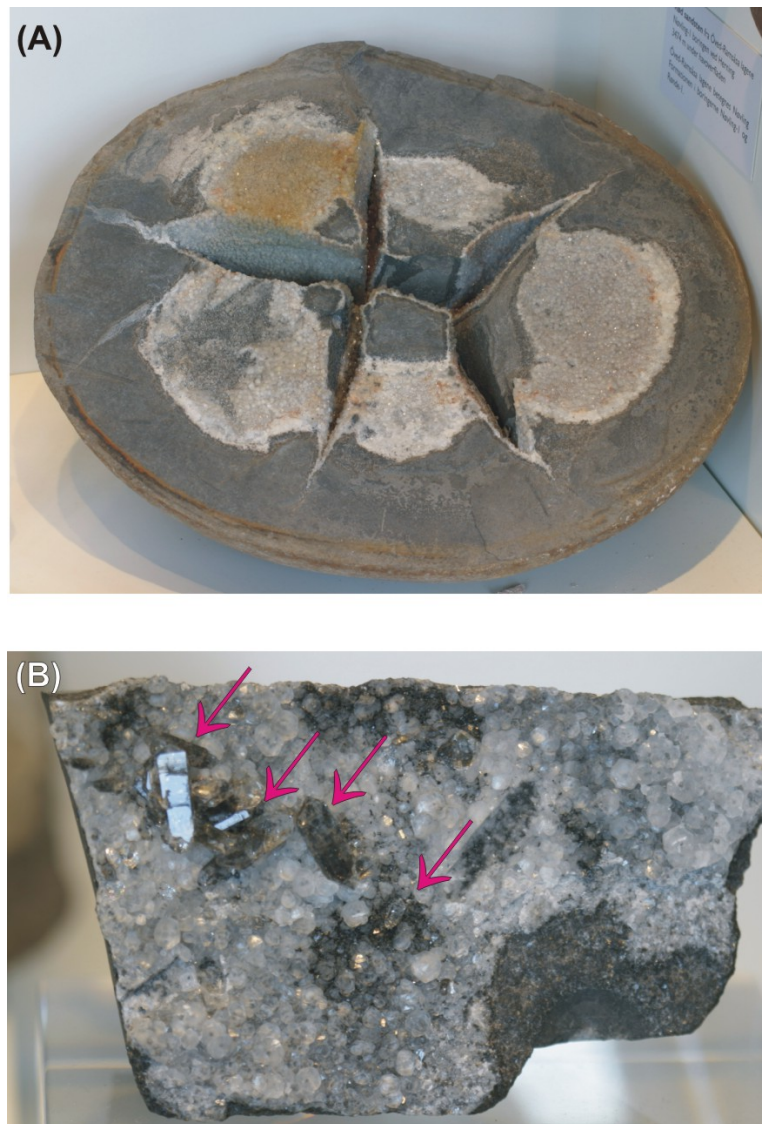
Figur 27

Figuren viser Baltica's vandring gennem Tidlig Palæozoikum fra Kambrium 500 millioner år før nu til Tidlig Devon godt 100 millioner år senere. Fire kontinenter var indblandet i bevægelserne: Gondwanaland, Laurentia, Avalonia og Baltica. Tallene viser kontinenternes placering på bestemte tidspunkter, regnet i millioner af år før nu. Kollisionen mellem Laurentia, Baltica og Avalonia førte til dannelse af Den Kaledoniske Bjergkæde gennem Norge, Østgrønland, Skotland, Nordtyskland og Polen. I de to sidste lande er bjergkæden i dag begravet under flere kilometer tykke lag af yngre aflejringer. Samtidig hermed blev de mellemliggende have Iapetus Havet og Tornquist Havet lukket. Modificeret efter Berthelsen, 1992. Tegning: BBW.



Figur 28

Strømorienterede graptolitter (Monograptus) i vulkansk sandsten fra øverste del af Tidlig Silur. Sandsten af denne type findes som løse blokke på de sydbornholmske strande. De aktive vulkaner har ligget syd for Bornholm nær kollisionszonen mellem Baltica og Avalonia. Foto: Merete Bjerreskov.

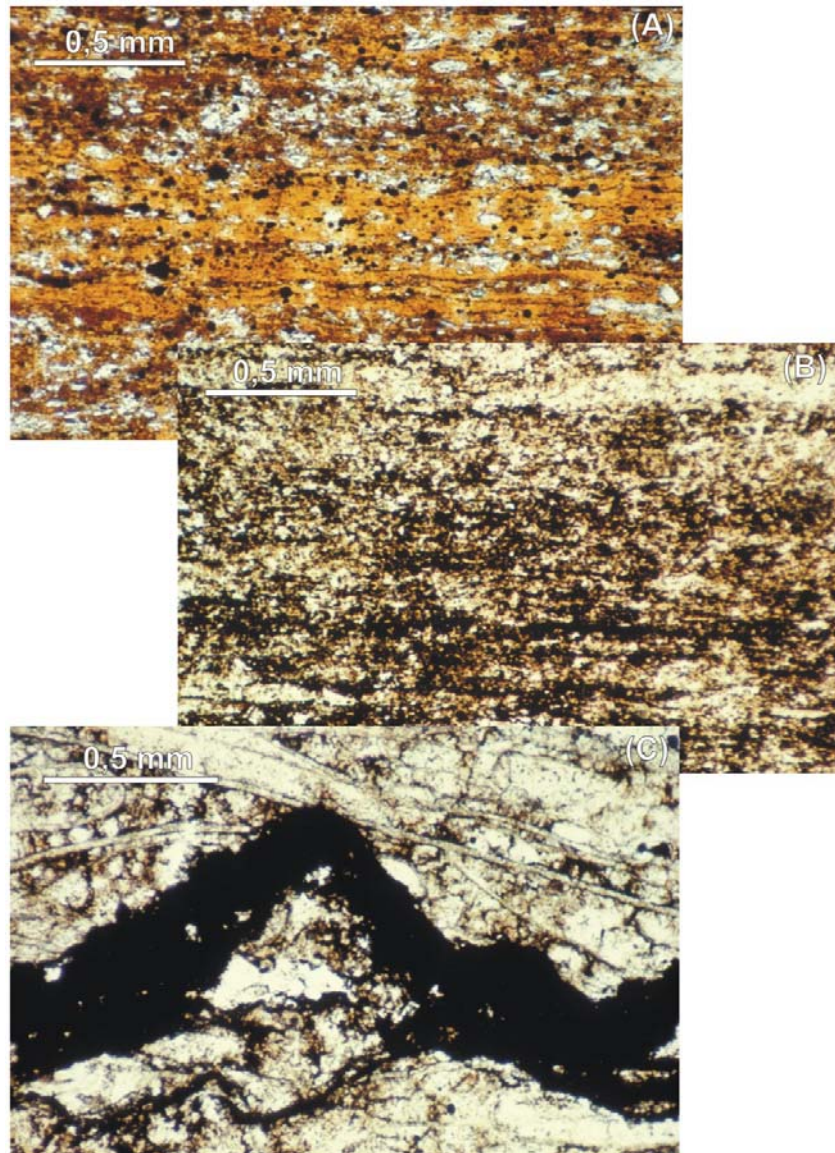


Figur 29

Konkretioner fra de silure skifre på Bornholm. Flækket konkretion med specielle indre strukturer, hvor skrumpning og opsprækning har dannet karakteristiske hulrum (A). Her er der udfældet lyse krystaller af kalkspat. Selve konkretionen består af de samme lerminerale som den omkringliggende skifer, men er cementeret med mikrokrystallin kalkspat hurtigt efter aflejring af skiferen. Bornholmske "diamanter" i brudstykke af en silurisk konkretion (B). De bornholmske diamanter har intet med rigtige diamanter at gøre, men er næsten perfekt krystalliserede kvartskrystaller. De har vokset i konkretionens indre hulrum, der ellers er udfyldt med kalkspatkrystaller. Kvartskrystallerne kan blive op til 10 mm store. Begge foto: Axel Kielland.

Figur 30

Tyndslib er skiver af bjergarter, der er tynde nok til at lade lyset passere. Derved kan man i et mikroskop undersøge bjergarternes strukturer. Disse tre tyndslib viser skiver af Alun Skifer med og uden varmpåvirkning fra den dybe begravelse. Slibet øverst (A) indeholder ravfarvet organisk materiale, sikkert rester af bakterier og alger, mellem fine kvartskorn, lerminerale og pyrit. Den gyldne farve viser, at det organiske materiale ikke har været udsat for opvarmning. Slibet i midten (B) viser en tilsvarende bjergart, men her er det organiske materiale delvist omdannet til olie og senere forkullet til sorte udfyldninger mellem kvartskornene. Bjergarten har været opvarmet til mindst 120 °C. Slibet nederst er fra en antrakonitkalk (C). Her ses det tydeligt, hvordan olie er trængt ind i en sprække i kalkstenen og siden størknet som et asfaltlignende materiale. Foto: BBW.



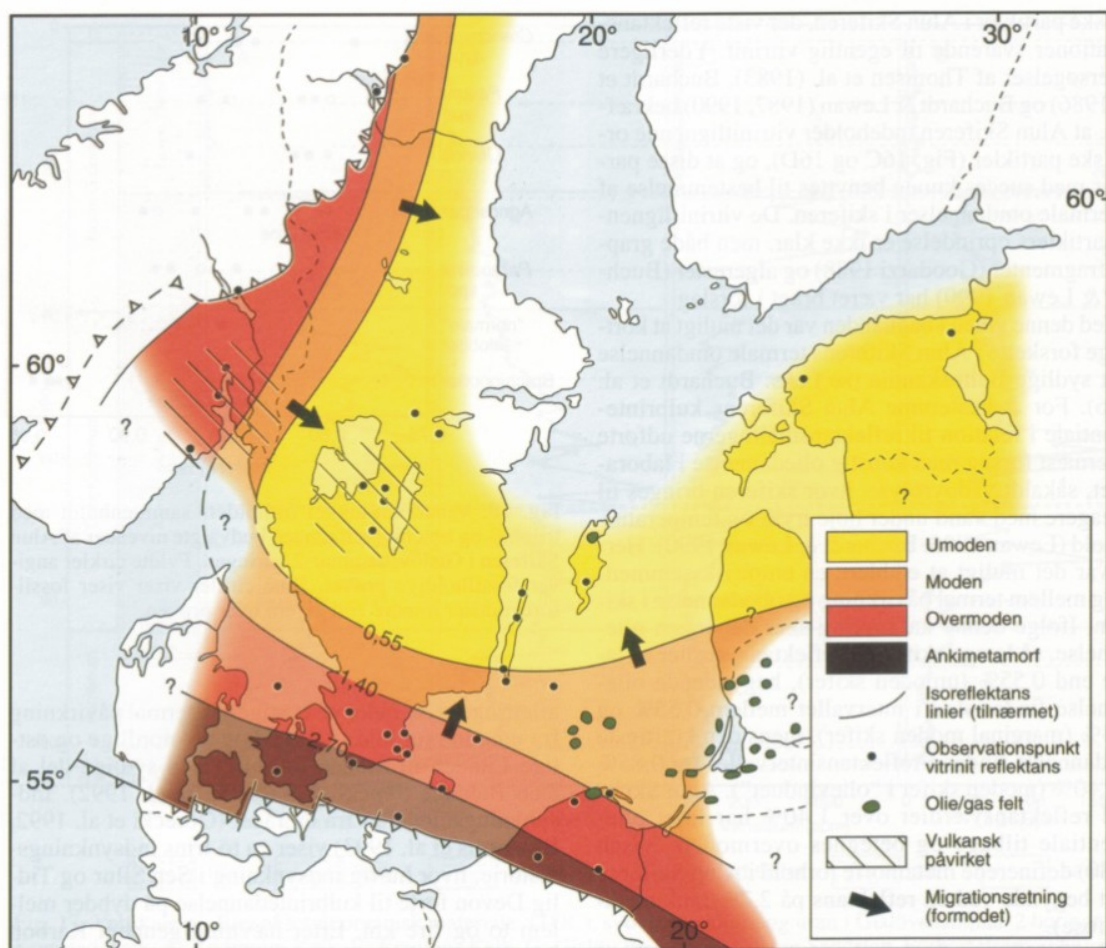


Figur 31

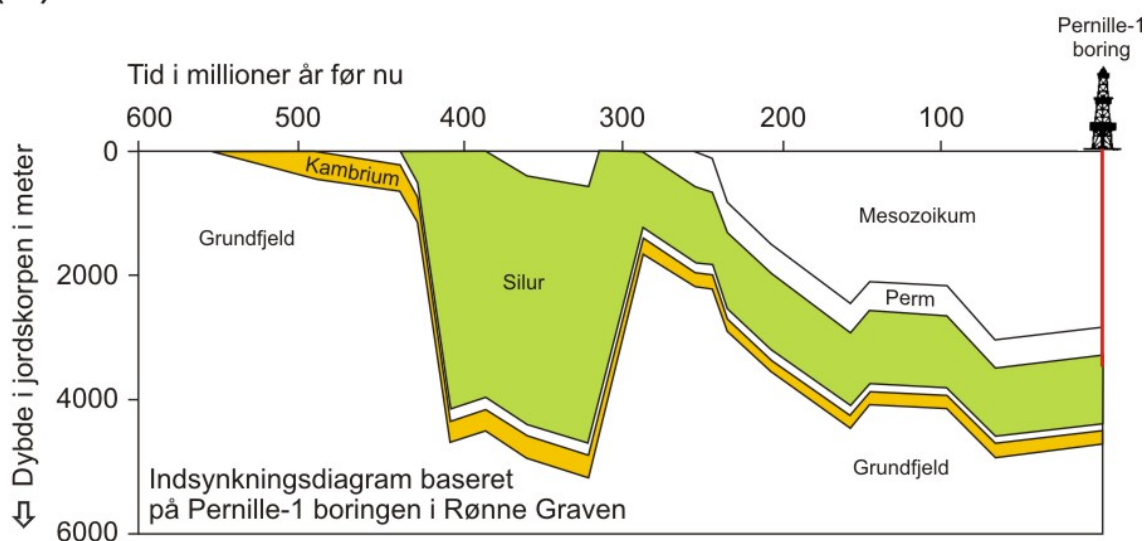
Opløsningsstrukturer i Balka Sandsten. I løbet af Den Kaledoniske Bjergkædefoldning blev det sydligste Skandinavien inklusive Bornholm og Skåne begravet på stor dybde i jordskorpen. I forbindelse hermed cirkulerede store mængder varmt vand gennem bjergarterne, og bl.a. kvartskornene i sandstenen blev udsat for opløsning. Denne opløsning og senere genudfældning af kvarts har dels ført til cementering af sandstenen, dels efterladt ejendommelige grubede opløsningsstrukturer på lagfladen. Foto: BBW.

Figur 32

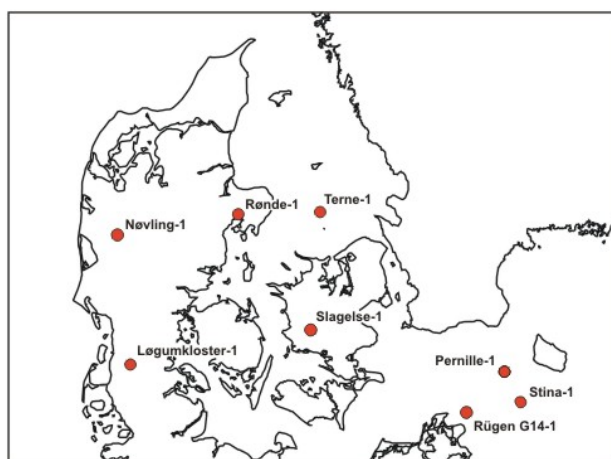
Kortet viser den skønnede varmepåvirkning af Alun Skifer Formationen i det sydlige Skandinavien. Modenhed henviser til bjergartens mulighed for at danne olie. En umoden bjergart har endnu ikke dannet olie, en overmoden bjergart har udtømt sit potentiale for oliedannelse. Varmepåvirkningen er vurderet ud fra organiske partiklers evne til at tilbagekaste lys, den såkaldte vitrinitreflektans. Varmepåvirkningen afspejler indsinking og begravelse i det silure farlandsbassin (se kapitel 5) i forbindelse med, at Den Kaledoniske Bjergkæde blev dannet. Figur fra Buchardt et al. 1997, DGF.



(A)



(B)



Figur 33

Computermodellering er en metode til at rekonstruere den geologiske historie af indsynkningsforløbet i et geologisk område. Diagrammerne viser en model for indsykningen af Rønne Graven (kapitel 5) vest for Bornholm, delvist baseret på data fra den dybe boring Pernille 1. I modellen kan man følge udviklingen i begravningsdybde for f.eks. lagene fra Kambrium fra de blev aflejret for 520 millioner år siden frem til i dag. Bemærk den hastige indsykning i Silur for ca. 440-420 millioner år siden, samt den markante hævnning inden aflejring af lag fra Perm for ca. 290 millioner år siden. Den silure indsykning skyldes dannelsen af et aflejringsbassin langs Baltica's rand. Samtidig med indsykningen fulgte en kraftig opvarmning af kambriske lag. Herved dannede Alun Skifer olie, der i dag desværre kun kan erkendes som sortfarvning af nogle af lagene. Kortet viser lokaliserings af de dybe borer, der har nået lag fra Tidlig Palæozoikum. Delvist fra Vejbæk et al. 1994.