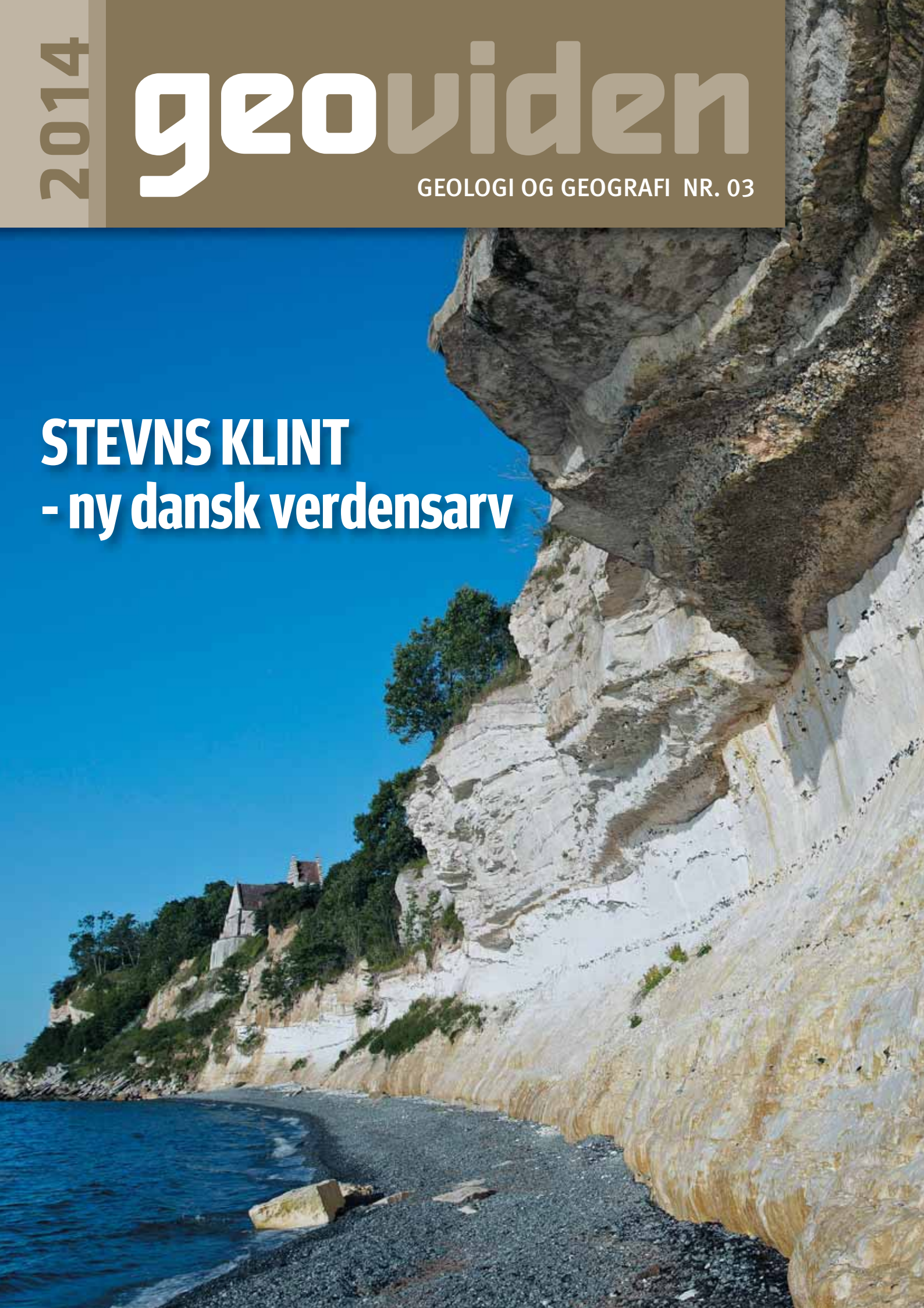


2014

geoviden

GEOLOGI OG GEOGRAFI NR. 03

STEVNS KLINT - ny dansk verdensarv



STEVNS KLINT - ny dansk verdensarv

De geologiske forhold ved den smukke Stevns Klint har været kendt og undersøgt siden ca. 1750, men nu har klinten fået en helt ny status ved at komme på UNESCO's prestigefyldte liste over verdensarv på basis af et stort forarbejde gjort af en lang række forskere under ledelse af Østsjællands Museum.

Centralt for udpegningen af klinten er lagene der omfatter Kridt-Tertiær-grænsen, som har været internationalt kendte i mange år og genstand for omfattende videnskabelige undersøgelser både i Danmark og i udlandet.

Som led i ansøgningsarbejdet er Stevns Klint blevet sammenlignet med over 500 andre lokaliteter verden over for at undersøge, om klinten er det bedste sted at se lag fra grænsen mellem Kridt- og Tertiærtiden, hvor Jorden blev ramt af en asteroide, og over halvdelen af alle dyrearter uddøde. Konklusionen på analysen blev, at Stevns Klint er det bedste sted i verden at se denne grænse, og at klinten har den 'enestående universelle værdi', som er et krav for at blive optaget på UNESCO's verdensarvsliste. I sommeren 2014 erklærede UNESCO's verdensarvskomite, at de var enige i analysen, og Stevns Klint blev optaget som nummer 1007 på den fornemme liste.

Den 23. juni i år besluttede UNESCO's verdensarvskomite, at Stevns Klint er værdig til at blive optaget på listen over enestående verdensarv. Hermed blev resultatet af en målrettet indsats belønnet, og Stevns Klint har fået den formelle anerkendelse som en geologisk lokalitet i verdensklasse.

En ansøgning om at blive verdensarv er en lang og kompleks proces, og bag ansøgningen ligger en årelang indsats fra eksperter fra Østsjællands Museum og Københavns Universitet. Eksperterne har beskrevet de geologiske forhold, med fokus på lagene omkring Kridt-Tertiær-grænsen ved Stevns Klint og gennemført sammenlignende studier med andre lokaliteter, som også indeholder Kridt-Tertiær-grænselag. Andre eksperter har bidraget med supplerende materiale af geologisk, biologisk og kulturhistorisk art.

En verdensarvsansøgning kræver også en detaljeret dokumentation af områdets gældende beskyttelse og en omhyggelig plan for områdets forvaltning. Dette omfattende arbejde har været forankret lokalt i bl.a. Stevns Kommune, som har deltaget i arbejdet både økonomisk og med en detaljeret beskrivelse af forvaltningen og beskyttelsen af klinten. Den lokale befolkning har deltaget i baggrundsarbejdet for forvaltningsplanen og har også bakket op om ansøgningen over for

UNESCO's udsendte eksperter. Kulturstyrelsen har som den danske forvaltningsmyndighed stået bag hele processen med kvalifice-

ret rådgivning og den formelle kontakt til UNESCO. Den samlede indsats sikrede, at Stevns Klints særlige værdier blev lagt frem i et nomineringsdokument med en række omfattende bilag, som grundlag for UNESCO's verdensarvskomites beslutning.

Dette Geovidens-nummer giver en oversigt over dele af det geologiske indhold i den omfattende tekst, der findes i nomineringsdokumentet og dets bilag, for at give et indtryk af det især geologiske indspil, som er nødvendigt for at blive optaget på UNESCO's liste.



Stevns halvøen med markering af verdensarvsområdets udstrækning (med rødt). Omkring selve klinten er der flere bufferzoner, der lovmæssigt kan beskytte klinten.

Illustration: Henrik Klinge Pedersen, GEUS.



Foto: Peter Warming, Moors, GEUS.

Dette nummer af Geviden er udarbejdet af forfatterne i samarbejde med Chefkonsulent Peter Graversen på grundlag af bogen 'Nomination of STEVNS KLINT for inclusion in the World Heritage List'

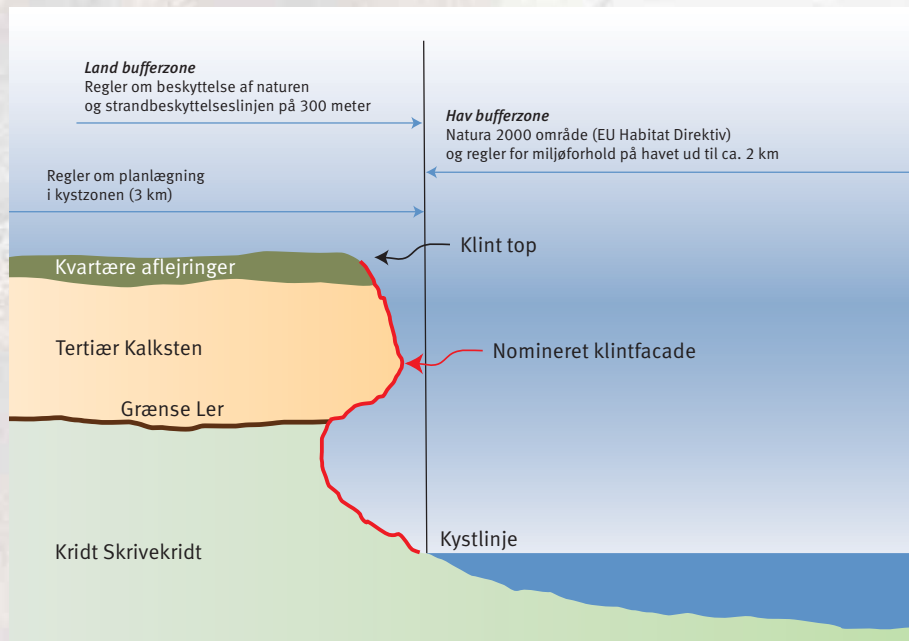
Forfattere:

Tove Damholt
Museumsdirektør, Østsjællands Museum
td@oesm.dk

Finn Surlyk
Professor emeritus, IGN
finns@ign.ku.dk

Redaktion:

Peter Graversen
Chefkonsulent, GEUS
pg@geus.dk



Geologisk profil der viser relationerne mellem klintens forskellige elementer.

Illustration: Henrik Klinge Pedersen, GEUS.

“Be outstanding examples representing major stages of earth’s history, including the record of life, significant ongoing geological processes in the development of landforms, or significant geomorphic or physiogeographic features”.

Stevns Klint blev foreslået som “et fremragende eksempel, der repræsenterer et afgørende tidspunkt i Jordens historie og livets udvikling”, nemlig den globale massedød ved Kridt–Tertiær-grænsen, hvor en sort del af Jordens dyre- og planteliv uddøde. Forslaget blev desuden begrundet med, at lagene i klinten er et eksempel på de drastiske ændringer, som kan følge et asteroidenedslag, og at klinten har haft en nøglerolle i udforskningen af sammenhængen mellem asteroide-nedslag og massedød. Et tema som UNESCO’s geologiske eksperter selv havde efterlyst til verdensarvslisten.

I ansøgningen blev der lagt vægt på, at profilet i Stevns Klint viser en komplet lagsøjle hen over Kridt–Tertiær-grænsen, at grænsen er flot blottet over en meget lang strækning, at der er høj fossil-diversitet, dvs. artsantal, og at klinten har en stor videnskabelig betydning. Det er summen af disse egenskaber, der gør, at klinten er noget særligt i forhold til de andre 500 lokaliteter, som er registreret globalt, og som alle indeholder informationer om den særlige katastrofe ved Kridt–Tertiær-grænsen. Populært sagt viser ansøgningen, at Stevns Klint er det bedste sted på Jorden at se spor fra det tidspunkt, hvor Jorden blev ramt af en asteroide, og dinosaurerne uddøde.

De andre verdensarvssteder i Danmark

Stevns Klint blev det femte danske område, som er optaget på UNESCO’s liste. Vadehavet blev udpeget som det sjette område umiddelbart efter, at Stevns Klint blev udpeget. Det første danske verdensarvssted blev udpeget for 20 år siden, da Jelling Monumenterne kom på listen. Derefter blev Roskilde Domkirke og

Kronborg Slot tilføjet og i 2004 blev den grønlandske Ilulissat Isfjord udpeget. UNESCO’s liste omfatter nu over 1.000 lokaliteter fordelt over hele verden. Heraf er kun 197 optaget som natursteder, mens resten er kultursteder eller blandede natur- og kultursteder.

Nomenklatur

Grænsen mellem de mesozoiske og kænozoiske æraer (se s. 4) har været benævnt Kridt–Tertiær-grænsen (K–T). Det er blevet foreslået at anvende opdelingen af den tertiære periode i den ældre palæogene og den yngre neogene periode. Derfor er grænsen nu ofte refereret til som Kridt–Palæogen-grænsen (K–Pg), selvom dette ikke altid sker. I forbindelse med ansøgningen om at blive verdensarv er den traditionelle nomenklatur, Kridt–Tertiær-grænsen blevet anvendt, da den er bedst kendt i medierne og offentligheden.

Nominering af et verdensarvssted

For at en lokalitet kan blive optaget på UNESCO’s liste over verdensarv, skal den leve op til de generelle krav i verdensarvskonventionen og passe ind under mindst et af de ti kriterier, der er beskrevet i UNESCO’s gældende vejledning til optagelse på listen: “Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention (2008)”.

Stevns Klint blev i ansøgningen foreslået indskrevet under det gældende kriterium viii, hvor der står, at det nominerede sted skal:

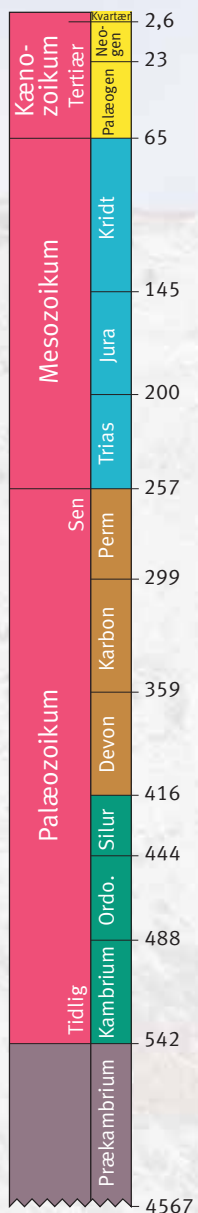
Beskrivelse af Stevns Klint

Stevns Klint er en 15 km lang og op til 41 meter høj kystklint. Nederst består klinten af lag af kridt fra slutningen af Kridt-tiden. Herover findes Kridt–Tertiær-grænselagene, som efterfølges af kalksten fra Danien (starten af Tertiær-tiden). De øverste meter af klinten består af moræneler fra sidste istid.

Lagene i klinten er langs hovedparten af de 15 km perfekt blottet, og Kridt–Tertiær-grænsen kan studeres en lang række steder langs klinten. Blotningernes gode kvalitet har en væsentlig betydning for Stevns Klints udpegning som verdensarv; det samme har klintens status som en klassisk forskningslokalitet

Geologisk tidsskala

mio. år



Geologisk tidstavle.

for Kridt-Tertiær-grænsen, hvilket er dokumenteret i mere end 200 videnskabelige artikler og diskuteret i mange flere. For at studere evolutionen af dyr og planter hen over den store uddøen på Kridt-Tertiær-grænsen og den efterfølgende opblomstring af liv, er det vigtigt at forstå aflejningsdynamikken for lagene omkring grænsen. Disse forhold er velkendte ved Stevns Klint, hvor også ændringer i biologisk primærproduktion, temperatur og havniveau er klart forstået. Aflejringerne i Stevns Klint beskrives i det efterfølgende.

Kridtaflejringer fra Kridt-tiden

De bløde kridtaflejringer ved Stevns Klint er et karakteristisk eksempel på aflejring i det rela-

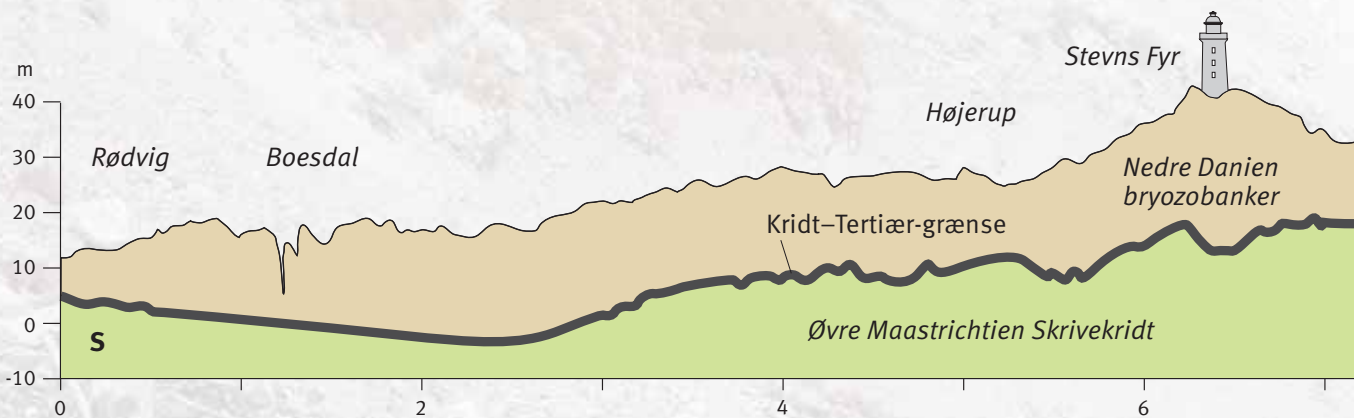
tivt dybe hav, der dækkede det meste af det nordvesteuropæiske kontinent i Sen Kridt. Kridtet blev aflejret på en vanddybde af mindst 100 meter, men det er vanskeligt at vurdere de præcise dybder, som kun kan bestemmes ved fraværet af bundlevende alger og bølgedannede strukturer, hvilket viser dybder henholdsvis under den fotiske zone (ingen fotosyntese pga. for lidt lys) og under stormbølge-basis. Dog har studiet af de bundlevende dyresamfund i kridtet, der er blottet i klinten, vist en succession af tre samfund, der levede på ret forskellige havdybder.

Kridtet består af meget små kalkfragmenter (kokkolitter) fra encellede alger (kokkosfærer), som levede i de øverste vandmasser



Kridthavets udstrækning i Sen Kridt. Store dele af Nordvesteuropa er vanddækket.

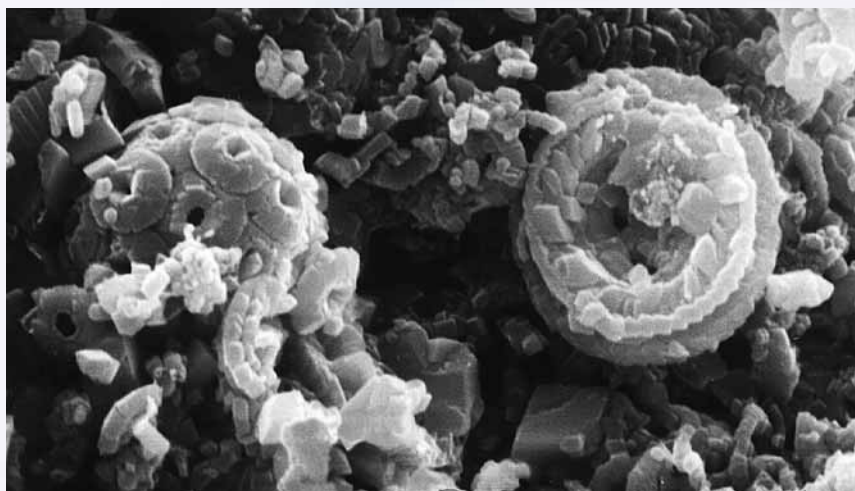
Illustration: Stefan Sølberg, GEUS.



og brugte sollys til fotosyntesen. Kokkolitfragmenterne er kun omkring 1/1000 mm store, men når algerne døde, faldt de mange små kalkfragmenter langsomt ned gennem vandsøjlen, indtil de nåede havbunden og blev akkumuleret som en tyk lagpakke af meget fin-kornet sediment.

Kridt er en typisk oceanisk sedimenttype, men i Sen Kridt, da havniveauet var meget højere end i dag, spredtes aflejringen af kridt ind over de oversvømmede kontinenter. Nordvesteuropa var en region med begrænset lokal tektonisk aktivitet, og landområderne omkring Kridthavet var langsomt blevet eroderet ned. Kombinationen af ørkenagtigt tørt klima, begrænset lokal tektonisk aktivitet og nedslidte landmasser resulterede i en meget begrænset tilførsel af ler fra landområdernes floder sammenlignet med den mængde et havområde normalt modtager. Dette forklarer at kridtet er så rent, idet det næsten udelukkende består af skeletfragmenter og kun indeholder meget små mængder ler.

Kridtet kan de fleste steder langs Stevns Klint ses i klintens nederste dele. Ved Højstrup, som ligger centralt på klinten, er kridtet synligt i den nederste halvdel under et markant overhæng bestående af Danien bryozokalk. Bunden af overhænget markerer Kridtets top og dets grænse til bryozokalksten fra Danien og derved også Kridt-Tertiær-grænsen. På langs af klinten varierer grænselagets højde fra omkring 5 m under nuværende havniveau i den sydlige del til omkring 35 m over nuværende havniveau i den nordlige del af klinten. Grænselaget har således et relief på mere end 40 m og den tykkeste lagfølge af kridt er blotet i den nordlige del af klinten.



Skeletdele, kokkolitter, som stammer fra kokkosphærer. Forstørret 2000 gange.

Foto: Peter Frykman, GEUS.

Den storskala-struktur, som ses ved variationen i grænselagets højde i klinten, har været kendt længe og har traditionelt været betragtet som et resultat af tektonisk foldning i yngre Tertiær. Nye undersøgelser baseret på seismiske målinger viser dog, at der ikke er sket nogen tektonisk foldning, og at relieffet er en primær struktur, som afspejler topografien på havbunden i Sen Kridt.

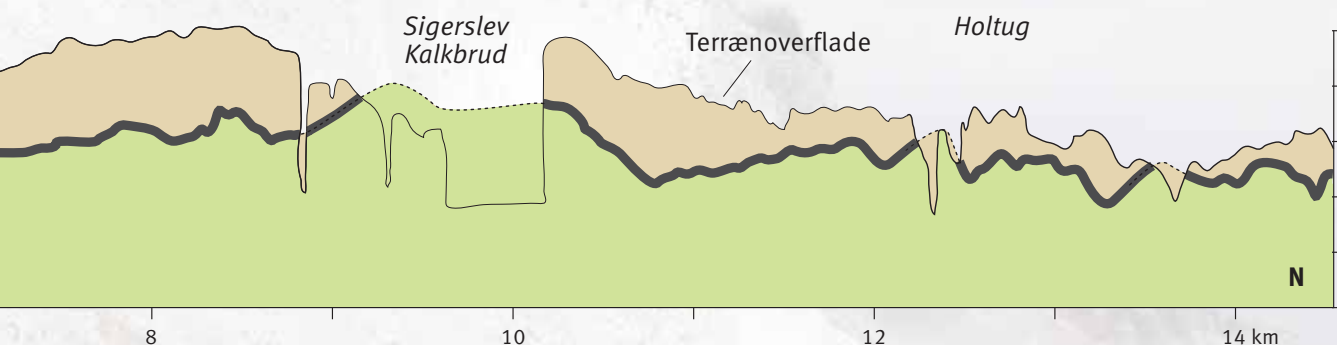
Den rige fauna er karakteristisk for Kridt-havet, som dækkede det meste af Nordvest- og Centraleuropa i mere end 30 mio. år, og det repræsenterer en unik marin habitat. Den utrolig lange periode med et stabilt marint miljø førte til udvikling af en højt specialiseret bundfauna. Artshyppigheden i kridtlagene i Stevns Klint er derfor meget høj for nanno-, mikro-, meso- og makrofossiler (se s. 6), og de fleste fossilgrupper er repræsenteret. I alt er

der i den blottede del af Stevns Klint fundet mere end 450 makrofossil-arter og desuden hundredvis af nanno- og mikrofossil-arter.

Strukturerne i den tykke kridtlagserie kan groft opdeles i to. I den nedre del, som er blotet i den nordlige del af Stevns Klint, ses irregulære bankeformede lag med tynde lag af flintknolde. Strukturerne viser, at den lokale havbunds topografi var udformet som et system med relativt lange banker og med mindre banker ovenpå. Kridtet i disse meget store banker er generelt rigt på makrofossiler, som repræsenterer en omfattende artsrig bundlevende fauna domineret af bryozoa, muslinger, brachiopoder, søpindsvin, kalkrørsorme, enkeltkoraller og svampe. Snegle var også en vigtig gruppe, men på grund af opløsning af skal-erne ved tidlig begravelse af lagene, er de kun bevaret i visse tidligt hærtnede lag.

Stevns Klint profilet, som viser K-T-grænselagets topografi.

Illustration: Eva Melskens, GEUS.

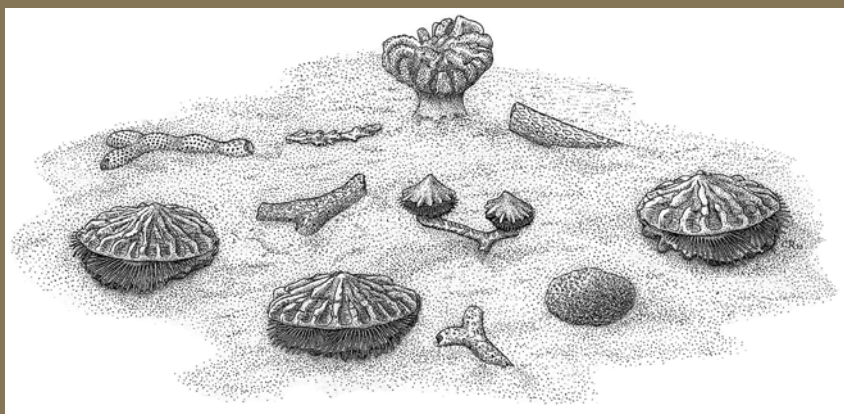


Fossil-klasser

Nannofossiler er fossile planter, som ikke kan ses i et almindeligt mikroskop. Størrelsen er almindeligvis på 5–60 my. Mikrofossiler kan være dyr eller planter og kan kun studeres i mikroskop. Størrelsen er generelt mindre end 0,5 mm. Makrofossiler kan være dyr eller planter, som kan ses uden mikroskop. Mesofossiler er mindre dele af fossile planter som fx frugter eller blade.

Brakiopoden Isocrania costata som ligger frit på bunden af Kridthavet.

Kilde: Surlyk, 1973.



Den ene af forfatterne, Tove Damsholt, undersøger K-T-grænselaget, Fiskeler Ledet.

Foto: Jakob Lautrup, GEUS.

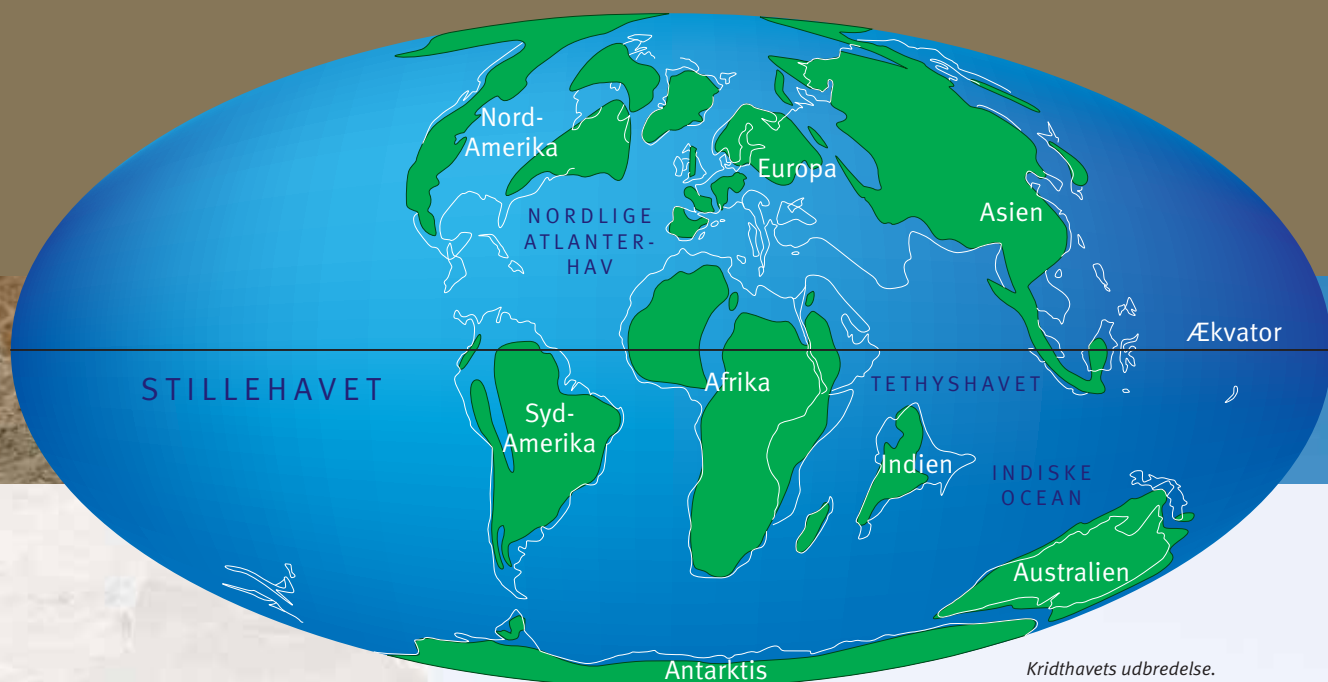


Sen Kridt

Den omfattende uddøen ved Kridt–Tertiær-grænsen markerede afslutningen af en enestående periode i livets historie. Sen Kridt var således en markant drivhusperiode med et varmt klima og med en lille temperatur-gradient mellem ækvator og polerne sammenlignet med i dag. Det globale havniveau var højt; sandsynligvis mere end hundrede meter over nutidens havniveau og nåede et af de højeste ni-

veauer gennem den Fanerozoiske Æon (de sidste 540 mio. år). Det høje havniveau resulterede i oversvømmelse af udstrakte lavtliggende kontinentale områder og dannede derved et hav, der dækkede det meste af Nordvest- og Centraleuropa, inklusiv det nuværende Danmark. Disse ekstraordinære forhold førte til udvikling af et enestående habitat, Kridthavet og dets bund.

Et andet bemærkelsesværdigt forhold i Sen Kridt var, at klimaet var relativt stabilt gennem en usædvanlig lang periode på mere end 30 mio. år. I den lange stabile periode blev der aflejret en kontinuerlig tyk succession af ensartet kridt, og der blev udviklet en højt specialiseret marin fauna af hvirvelløse dyr, som findes i kridt over store dele af verden inklusiv ved Stevns Klint.



Kridthavets udbredelse.

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

Over den nedre del med bankestrukturer ligger kridtet fladt i næsten horisontale lag og er desuden fattig på flint. Dette kridt er også fattigt på bundlevende dyr, men gravegangene *Zoophycos*, der er typiske for dybvandsaflejringer, er talrigt til stede. Denne del af kridtlagsserien blev aflejret under rolige forhold med ingen eller meget svage bundstrømme.

Slutningen af Kridt Perioden

Efter mere end 30 mio. år med ensformig dybvandsedimentation sluttede aflejringen af kridt i den seneste del af Kridt Perioden. Ved Stevns Klint er de tykke lag af dybvands-kridt afsluttet med to ufuldstændigt udviklede hærtningshorisonter (hardgrounds). De ufuldstændige hærtningshorisonter, som blev dannet som resultat af et stop i sedimentationen og tidlig hærkning af havbunden, ses som en let gullig farvning af kridtet. Under den nederste hærtningshorisont ses et karakteristisk og markant lag af sorte flintknolde, som kan følges som en markør langs klinten 4–5 meter under Kridt–Tertiær-grænsen. De to ufuldstændige hærtningshorisonter, som viser et fald i havni-

veauet vurderet til muligvis så meget som 50–100 meter, skyldes mest sandsynligt et større globalt fald i havniveau.

Faldet i havniveau fik en markant effekt på livet på havbunden, som stadig var under den fotiske zone. Havbunden blev koloniseret af små filtrerende kolonidannende hvirvelløse dyr, bryozoer. Bryozoerne blev udbredte og dannede små banker på havbunden, som derved udviklede en banke-topografi med serier af rygge og trug. Bankerne var ca. 35 meter lange og omkring 1 meter høje.

Lagserien med bryozobankerne mellem hærtningshorisonten og Kridt–Tertiær-grænsen er op til 4,5 meter tyk, men bliver gradvis tyndere mod nord og er næsten kilet ud i den nordlige del af klinten – sandsynligvis på grund af reduceret sedimentation efter dannelsen af hærtningshorisonterne.

Kridt–Tertiær-grænsen

Ved Kridt–Tertiær-grænsen for 66 mio. år siden uddøde mere end halvdelen af alle Kridtidens arter deriblandt landlevende dinosau-

rer og store havøgler, og efter denne masse-død blev et helt nyt økosystem gradvist udviklet med en stor mængde helt nye arter.

Stevns Klint er et fremragende eksempel på en lokalitet, som ligger langt fra asteroidens nedslagskrater, og som illustrerer den globale effekt af nedslaget. Selve grænselaget ved Stevns Klint består af et tyndt lerlag, Fiskeleret, som indeholder de karakteristiske elementer fra den globale massedød, og det er tydeligt synligt i profilet, selv for det utrænede øje.

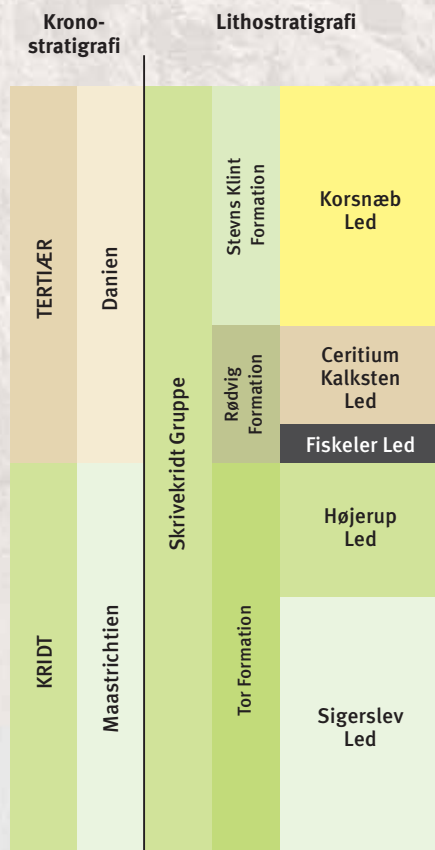
Det distinkte mørke lerlag ved grænsen er let at identificere, da det er det eneste lerlag i den 55 meter tykke lagserie af hvidt kridt og kalksten, der er blottet i klinten, og fordi det findes umiddelbart under et markant overhæng, der adskiller det bløde kridt fra Kridt-tiden fra de hårdere lag af bryozokalk fra Danien. Grænseleret ligger i en serie af lave, flade trug mellem de flade banker, der formede havbunden ved slutningen af Kridt-tiden. Lerlaget er normalt op til 10 cm tykt, men ved en lokalitet mod nord kan det nå op på 30 cm. Lerlaget kiler ud mod randen af de lave trug mellem bankerne.

Detaljer af Fiskeleret, hvor den tredelte inddeling tydeligt ses. Nederste lag, det rødplettede lerlag, Fiskeleret, ligger oven på skrivekridtet. Det mellemste lag er det sorte laminerede lerlag og øverst ligger det hvide mergellag overlejret af Cerithium Kalken.

Foto: Jakob Lautrup, GEUS.

Grænse-profil hvor det tynde sorte grænselerlag er klart synligt.

Foto: Jakob Lautrup, GEUS.



Stratigrafien i Stevns Klint.

Kilde: Surlyk, Damholt & Bjergager, 2006.
Illustration: Henrik Klinge Pedersen, GEUS.



Fiskeleret afspejler et brat stop i kalkproduktionen af nanno-, mikro- og makrofossiler og viser et markant fald i primær-produktionen, som er karakteristisk for Kridt-Tertiær-grænsen og er blevet påvist globalt.

Stevns Klints grænselerlag er traditionelt betegnet *Fiskeleret* på grund af det spredte indhold af små hajtænder, fiskeskæl og fiskeknogler. Selve Kridt-Tertiær-grænsen er placeret ved lerets nedre grænse. Lagene under og over Kridt-Tertiær-grænsen er nu blevet formaliseret og navngivet i en lithostratigrafisk inddeling, hvor Fiskeleret er placeret i Fiskeler Ledet.

Fiskeleret er inddelt i tre tynde enheder, der er bemærkelsesværdigt ensartet udviklet langs klinten, og en lignende inddeling er genfundet i grænseprofiler i andre dele af verden. Basis af Fiskeleret er repræsenteret af et få millimeter tykt lag af rødt jern-pletet ler.

Den rødlige farve, der skyldes forvitring af det jernholdige mineral pyrit, er også blevet registreret i andre dele af verden, og nogle gange er lerlaget blevet refereret som "the impact layer" på grund af dets indhold af materiale, som skyldes asteroidenedslaget. Tilstedeværelsen og berigelsen af grundstoffet iridium og andre elementer fra platin-gruppen, kvarts med deformeret krystalstruktur (chok-lameller – se evt. foto s. 9 i Geoviden nr. 2, 2013) og smeltet glas (tektit-glas) i grænselaget er blevet studeret intenst og sammenlignet med niveauet for normale baggrundsværdier, og der er nu generel enighed om, at grænselaget har en signatur, som stammer fra nedslaget. Det røde lerlag ved Stevns Klint har en af de største iridium anomalier fundet på en grænse-lokalitet, og er også beriget i indholdet af sjældne elementer som Ni, Co, Cr, Zn, Cu, As og Sb. For nylig er meget små fragmenter af

glas fra nedslaget blevet dokumenteret, og det er vist, at lermineralet smectit i det rødlige lerlag er dannet ved omdannelse af glas. Det rødlige lerlag har også et højt indhold af små kugler (spheruler) eller ellipsoider tolket som smeltet materiale dannet ved asteroide-nedslaget, som findes i grænselaget over hele verden.

Det røde lerlag er overlejret af op til 5 cm af lamineret sort ler med et højt indhold af organisk kulstof. Laget er ikke bioturberet, hvilket markerer fravær af liv på havbunden på aflejringstidspunktet. Det sorte ler går op efter over i bleggrå til hvid merglet kalk, der bliver mere karbonatholdig opad, hvor det gradvist går over i Cerithium Kalk Ledet. Hele successionen fra sort ler til kalk viser den gradvise genoptagelse af den primære karbonatproduktion.

Teorier om global massedød

I 1980 blev hypotesen om, at et asteroidenedslag var årsagen til massedøden ved Kridt-Tertiær-grænsen, præsenteret. Denne nye hypotese var baseret på de studier, som den amerikanske geolog Walter Alvarez foretog i grænselaget ved Gubbio i Italien. Han var interesseret i at finde et mål for, hvor meget tid, der var repræsenteret i grænselerlaget, og diskuterede spørgsmålet med sin far, nobelprisvinder i fysik, Luis Alvarez.

Baseret på den antagelse, at Jorden modtager en konstant mængde af ekstraterrestisk støv fra rummet, antog Luis Alvarez, at de kunne beregne ændringer i sedimentationsraten ved at måle koncentrationen af ekstraterrestisk materiale over grænsen. Som repræsentativt for det ekstraterrestiske materiale valgte de at måle den relative mængde af iridium, et metal fra platin-gruppen, der sjældent findes i Jordens skorpe, og næsten udelukkende når Jordens overflade fra rummet. Da forskerne målte iridium-indholdet i grænselagene, fik de det overraskende resultat, at koncentrationen af iridium i grænseleret var meget højere end forventet.

Det var nu spørgsmålet, om denne berigelse i iridium var et lokalt fænomen, eller om der var tale om et globalt fænomen, der viste, at Jorden havde modtaget store mængder af materiale fra rummet ved Kridt-Tertiær-grænsen. For at besvare dette spørgsmål rejste Walter Alvarez til Stevns Klint for at indsamle prøver af Fiskeleret ved den klassiske lokalitet ved Højerup. I laboratoriet opdagede Alvarez og hans kolleger derefter til deres begejstring, at berigelsen af iridium-indholdet ved Stevns Klint var højere end påvist i Italien. Dermed fastslog Stevns Klint-prøverne, at iridium-berigelsen ved Kridt-Tertiær-grænsen virkelig var et globalt fænomen og den dannede basis for den nye teori, præsenteret i artiklen fra 1980.

Diskussioner om årsagen til massedød var intens i 1980'erne og -90'erne og debatten førte til ophedede diskussioner i videnskabelige artikler,

ved møder og i geologkredse. Katastrofe-nedslagsmodellen fik støtte, da der blev fundet et nedslagskrater ved Chicxulub på Yucatan halvøen i Mexico med omvæltede og forstyrrede sedimentblokke i og tæt ved nedslagsområdet, og aflejringer af katastrofale submarine massestrømme eller tsunami-aktiviteter, der kunne relateres til asteroidenedslaget. Den direkte observation af kollisionen mellem kometen Shoemaker-Levy-9s og planeten Jupiter i 1994 førte til en øget accept af effekten af kollisioner mellem store himmellegemer.

I dag er det generelt accepteret, at Jorden blev udsat for et asteroidenedslag, som årsag til massedøden ved Kridt-Tertiær-grænsen. Hvilken effekt og tidlig forbindelse den udstrakte Deccan Trap vulkanisme i Indien havde, er stadig debatteret, ligesom også indflydelsen af klimaændringer diskuteres. Katastrofeteorien baseret på asteroidenedslaget på Yucatan omfatter en geologisk set

nærmest øjeblikkelig massedød forårsaget af, at den eksploderende asteroide og ophvirvlet nedslagsmateriale fra krateret blokerede sollyset længe nok til, at havets fotosyntetiserende plankton, der er basis i de marine fødekæder, uddøde. Massedøden bredte sig derefter hurtigt op igennem de højere led af fødekæderne. Den alternative, gradvise model med uddøen over lange tidsrum bygger på blandt andet Deccan Trap vulkanismen (se nedenfor) og dens produktion af drivhusgasser, der havde stor virkning på klimaet. De to teorier har visse lighedspunkter, idet de begge omfatter blokering eller dæmpning af sollyset samt produktion af forskellige gasser. De fleste er i dag nok af den opfattelse, at Deccan Trap vulkanismen svækkede det globale økosystem over hundrede tusinder af år, og at nedslaget af en asteroide med en diameter på godt 10 km var den afgørende 'trigger' mekanisme.



Hen mod Kridt-Tertiærgrænsen skete et større havniveaufald, klimaændringer og vulkanske udbrud, som påvirkede livet på Jorden. Det var i denne ustabile periode at Jorden blev ramt af en stor meteorit. Den store marine øgle mosasaueren, som levede i Kridthavet, uddøde ved grænsen.

Satellitfoto: NASA.

Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

Kalkaflejringer fra Danien

I Stevns Klint er det ældste afsnit af Tertiær-tiden, Danien-tiden, især repræsenteret af store bryozokalkbanker, men mellem Fiskeler Ledet og de prominente bryozobanker findes en tynd kalksten, Cerithium Kalksten Ledet. Toppen af denne kalksten er en markant erosionsflade ledsaget af tidlig hærkning af havbunden. Erosionsfladen skærer toppen af Cerithium Kalksten Ledet og når også toppen bryozobankerne fra den sidste del af Kridt-tiden. Erosionen og hærkningen er sandsynligvis relateret til en regional eller global hændelse. Den tidlige hærkning har bevaret en rig, ellers ukendt fauna

af snegle og muslinger med skaller af aragonit, et kalkmineral der normalt opløses hurtigt i sedimentet.

Over Cerithium Kalksten Ledet findes de store bryozokalkbanker. Deres geometri, dimensioner og arkitektur er tydeliggjort af tykke sorte flintlag. Bankerne er blottet langs hele klintens længde og repræsenterer nogle af de fineste koldtvands-karbonat-bankekomplekser i verden. De mørke flintlag, som markerer bankerne, blev oprindeligt dannet ved opløsning af kiseliskaller og efterfølgende udskilning af meget små kiselkrystaller, der især blev koncentreret i vægge og fyld i krebsdyrgravengange i hav-

bunden. Gravegangene strakte sig typisk ned til 30 cm under havbunden, hvor der i perioder med nedsat sedimentation blev dannet et tæt galleri af gravegange. Flintlagene viser derfor et præcist billede af havbundens overflade og bankernes strukturer. Bankerne havde et relief på omkring 5–10 meter på havbunden, og var typisk 50–100 meter lange på den korteste akse og op til 300 meter på den lange akse. Set ovenfra havde bankerne en oval form og deres længste akse var orienteret vestnordvest-østsydøst.

Antallet af arter fundet i bryozobankerne er høj. Bryozoerne dominerer med hensyn til både



Danien bryozobanker ved Stevns Klint markeret af flintbånd.

Foto: Peter Warnø-Moors, GEUS.

antal arter og volumen, og fine grenede bryozoa danner hovedskelettet i bankerne, og bi-drager med 20-45 % af sedimentet. Andre fossiler omfatter søpindsvin, kalkrørsorme, søliljer, søstjerner, brachiopoder, muslinger, svampe, bundlevende foraminiferer og snegle.

Detaljerede studier har vist, at bankerne især var dannet gennem bryozoernes vækst,

idet de dannede lave krat på havbunden, og bankerne er således tolket til at være biologiske strukturer, som fortrinsvis voksede i syd-sydvestlig retning op imod en næringsrig bundstrøm. Stevns Klint viser glimrende blotninger af bryozobanker, og langs klinten kan bankerne studeres fra forskellige vinkler inden for mindre bugter. Samtidig er banker-

ne synlige i vandret snit på den nutidige havbund foran klinten og i det 1,6 km lange tunnelsystem, som indgår i koldkrigsfæstningen Stevnstøt og i nedlagte kalkstensbrud. Disse forskellige blotningstyper har gjort det muligt at udvikle en detaljeret tredimensionel model for bankernes dannelse.

Flint og sporfossiler

Den knoldede flint, der er typisk for Stevns Klint, er dannet ved en kemisk proces i fyldet i de gravegangssystemer, der blev dannet af krebsdyr, som boede nedgravede i havbunden. Krebsdyrene konstruerede deres gravegange i komplekse gallerier omkring 30 cm under havbunden og stabiliserede gangenes vægge med slim. I perioder med langsom sedimentation blev gravegangene brugt af generationer af krebsdyr, som stabiliserede gangene og øgede koncentrationen af organisk materiale, som resulterede i en markant og geokemisk kontrast mellem det løse fyld i gravegangene og det mere tætpakkede kridt i og udenom gravegangenes vægge.

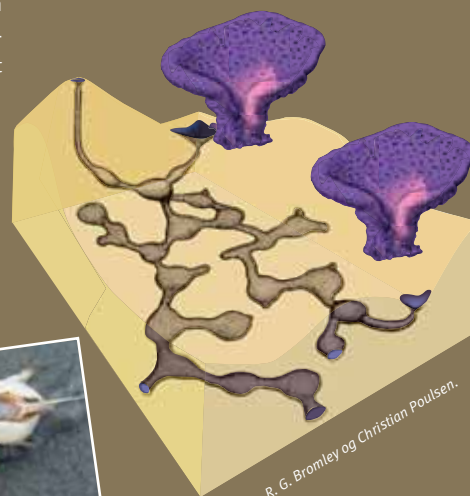
Det første skridt i flintdannelsen startede, når sedimentationshastigheden på havbunden steg igen og begravede gravegangshorisonterne dybere under havbunden, hvor redoxgrænsen blev nået. Lige over redoxgrænsen var der en tynd zone med sulfatreduktion og oxidering af sulfider, som resulterede i lavere pH og opløsning af karbonat samt ved, at en flokkulation af opløst silikat i porerummet dannede et forstadium af flint. Gennem perioder med reduceret sedimentation var redoxgrænsens position stabil i relativ lang tid, hvilket favoriserede flintdannelsens startfase.

Krystallisation af den mikrokrystalline kvarts, som udgør forstadiet til flint, skete på større dybde med stigende kompaktion og temperatur. Fordi kiselnen var opløst, før den igen blev udfældet, er det ikke længere muligt at spore dens oprindelse, men generelt antages det, at den stammer fra kiselnsvampenåle og muligvis også fra encellede radiolarier og diatomeer.



Flint, kiselnsvampe og gravegangssystemer. Den nutidige Ghost Shrimp (*Callinectes major*) graver lignende gravegangssystemer, som der findes i skrivekridt og kalksten.

Fotos: Anthony Martin.



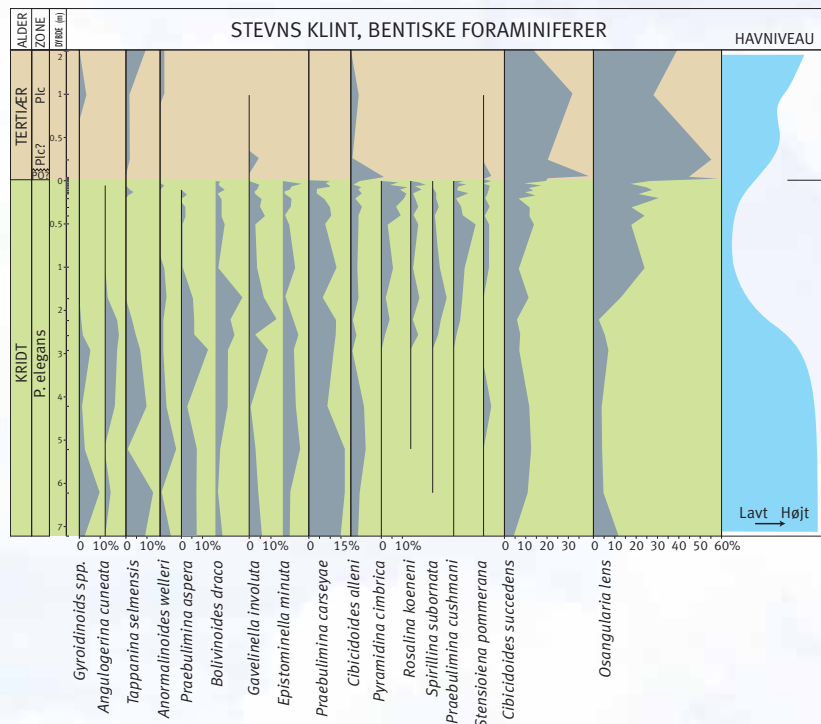
Kilde: R. G. Bromley og Christian Poulsen.

Planter og dyr ved grænsen

Stevns Klint er en af de bedste lokaliteter i verden at studere den biologiske ændring hen over Kridt-Tertiær-grænsen. Ved Stevns Klint er kalksedimenterne under og over grænsen aflejret i et ensartet marint miljø med blød kalkhavbund og er derfor velegnede til sammenligninger. Grænsen er kompleks men veldokumenteret, og klinten har et af de mest omfattende Kridt-Tertiær-grænseprofiler i verden, og demonstrerer alle kendte biozoner med en fremragende bevaring af et højt og artsrigt fossilindhold med mere end 830 arter af makrofossiler alene og dertil hundreder af nanno- og mikrofossiler.

Mellem de mere iøjnefaldende fund ved Stevns Klint er en korttids overlevelse af ammonitter ind i det ældste Danien. Ammonitterne var en gruppe af skalbærende blæksprutter, der var særlig karakteristisk for det mesozoiske hav, og man har ellers regnet denne dyregruppe for helt uddød ved Kridt-Tertiær-grænsen.

Ligheden i aflejringsmiljø og bevaringshistorie under og over grænsen gør det muligt at sammenligne det biologiske indhold og eliminere effekter, som skyldes ændringer i miljø eller i fossilernes bevaringshistorie. Især den sydlige del af klinten tillader detaljeret prøveindsamling, som er vigtig for at registrere de biologiske ændringer, og Stevns Klint er blandt



Den biologiske udvikling hen over Kridt-Tertiær-grænsen illustreret ved fordeling af foraminiferer.

Kilde: Schmitz et al., 1992.
Illustration: Christian Rasmussen.

de bedste lokaliteter i verden for studier af de biologiske ændringer hen over grænsen.

Disse studier viser et dramatisk fald i primærproduktion med et næsten totalt fravær af fossiler i Fiskeleret lige over grænsen, som er defineret ved iridium-anomalien ved bunden af leret og med et sammenhængende

Mosasauer og Mosasaur-tand (Plioplocarpus sp.).
Længde: 2,5 cm.

Foto: Steen Lennarth Jakobsen.

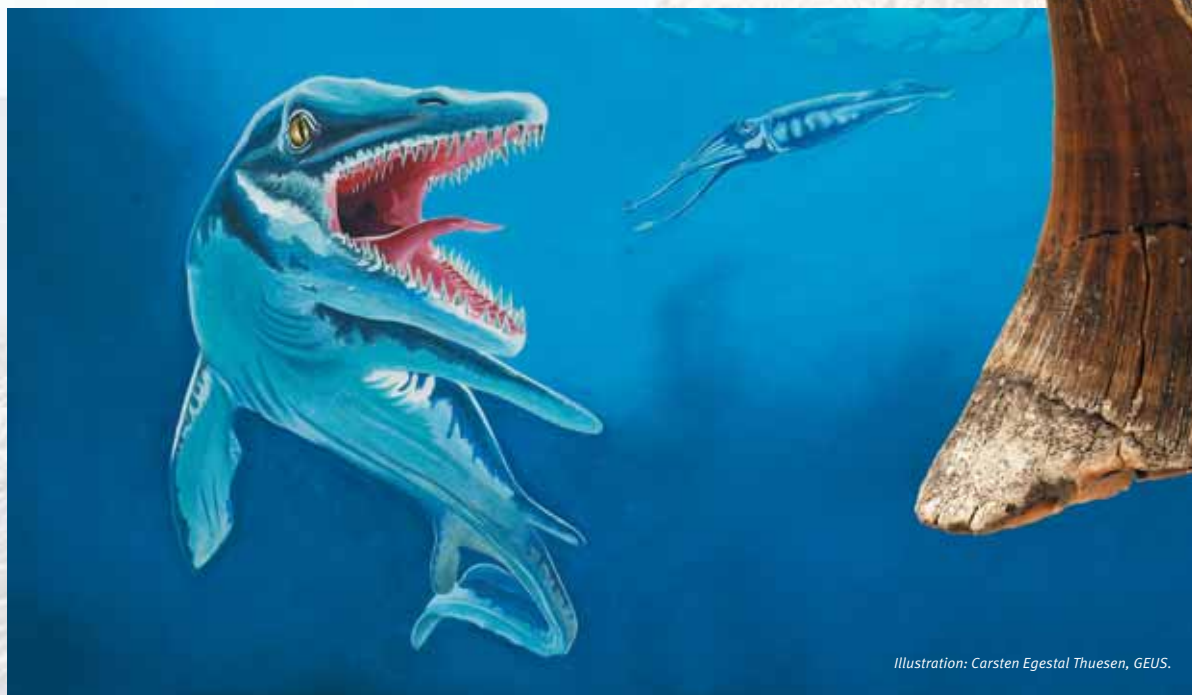


Illustration: Carsten Egestal Thuesen, GEUS.

dramatisk fald i artsantal. Denne uddøen påvirkede en række succesfulde grupper af hvirvelløse organismer, som foraminiferer, snegle, bryozoa, brachiopoder og muslinger, som i Stevns Klint profilet blev udsat for mellem 70 og 90 % uddøen på artsniveau. De store havlevende øgler, mosasaurerne, uddøde totalt på grænsen. To mosasaur-arter er blevet dokumenteret tæt ved grænsen i Stevns Klint, og de er blandt nogle af de yngste, som er fundet globalt.

Det biologiske livs tilbagevenden efter massedøden ved grænsen er illustreret af et genkomstmønster af muslingearter. Lige over grænsen er der nogle få overlevende arter med en enkelt art (*Corbulamella* sp.), der havde en dominans på 60–90 %. Disse få arter var de første til at bebo havbunden efter asteroidenedslaget. Gradvist op gennem Cerithium Kalken kom flere arter til, og artshypigheden voksede støt, indtil den nåede stort set samme niveau som lige under grænsen, og et nyt og mere stabilt samfund og økosystem blev etableret.

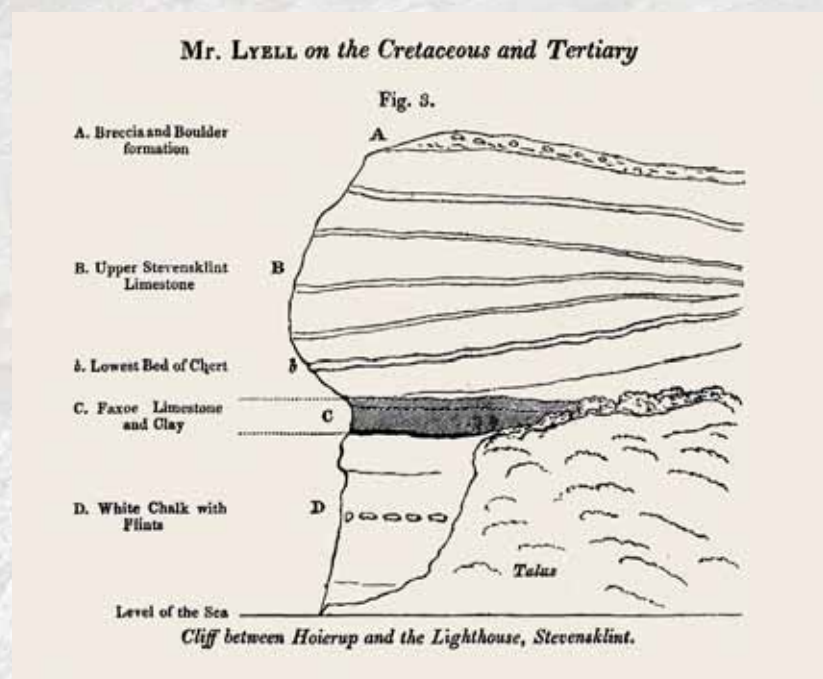
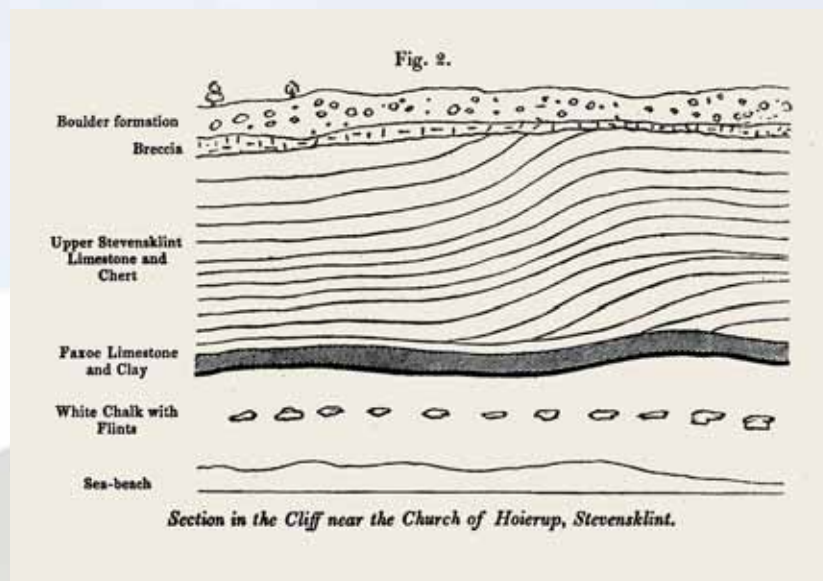
Hævning og erosion efter Danien

Efter aflejring af kridtet fra Kridt-tiden og kalkstenene fra Danien-tiden blev disse aflejringer dækket af omkring 500 meter tertiære sediment. Hævning i den sidste del af Tertiær-tiden bragte kridt og kalksten op til nuværende niveau, og erosion fjernede de øverste 500 meter aflejringer og den allerøverste del af Danien kalklagene.

Den sidste erosionsfase skete under Kvartær-tidens nedisninger, hvor Stevns Klint lå i randen af det skandinaviske isskjold. I løbet af den seneste istid, Weichsel, blev området dækket af isstrømme fra nordøst (Hovedfremstødet), øst og sydøst (De Ungbaltiske fremstød). Isstrømmene eroderede toppen af Danian kalklagene, som er en glacial erosionsflade, og afsatte det brune moræneler, som findes øverst i klinten. Isstrømmene påvirkede kun i beskedent omfang kridt- og kalklagene i Stevns Klint, grænselagene forblev intakte, og isens påvirkning ses kun som mindre sprækker og forsætninger.

Klintens dannelse

Efter at den sidste gletsjer var smeltet for ca. 16.000 år siden, blev den Baltiske Issø dannet i Østersøområdet. Indtil ca. 7.000 år før nu lå



Den berømte engelske geolog Charles Lyell besøgte Stevns Klint i maj 1835, hvor han tegnede flere skitser af Stevns Klint, som blev publiceret i 1937. Lyell var overbevist om at Fiskeleret og Cerithium Kalken (som han kaldte Faxoe Limestone) hørte til Kridt Perioden.

Kilde: Lyell, 1837.

Stevns Klint imidlertid pænt over havniveau, og området var dækket af tæt vegetation.

En hurtig havniveau-stigning startede ca. 8.000 år før nu (Littorina-transgressionen), og bragte havniveauet i Stevns Klint-området tæt på det nuværende niveau. Stigningen kulminerede for ca. 6.000 år siden. Siden da har landet hævet sig 2 meter mere end havet er steget. Det stigende hav dannede den første

kystklint, og efterfølgende har bølgeaktivitet forårsaget en langsom men vedvarende erosion af klinten. Storbølger har eroderet i den nedre del af klinten og fjernet nedskredet materiale fra klintens fod. Baseret på en omfattende analyse af historisk og nutidig erosion vurderes den gennemsnitlige erosionsrate ved Stevns Klint at være på ca. 15 cm/år.

I den tidligere kalkgrav, Boesdal, ses et fint eksempel på en bryozobanke, som er symmetrisk i den ydre form, men asymmetrisk i de indre strukturer.

Foto: Jakob Lautrup, GEUS.



Optagelse på verdensarvsliste: Kriterier for optagelse og dokumentation

Stevns Klint blev som tidligere nævnt foreslået indskrevet på UNESCO's verdensarvsliste under det gældende kriterium viii, hvor der står, at det nominerede sted skal "være et fremragende eksempel på en hovedperiode i Jordens historie, og inkludere et bevis for liv, betydningsfulde pågående geologiske processer i udviklingen af landformer, eller have betydningsfulde geomorfologiske eller fysiografiske kendetegn" (oversat fra engelsk).

Det generelle kriterium er meget bredt formuleret men suppleres af en rapport udarbejdet af den internationale organisation, IUCN (International Union for Conservation of Na-

ture), som rådgiver UNESCO om natursteder. IUCN har i rapporten opstillet 13 temaer inden for kriterium viii og disse temaer anvendes i vurderingen af geologiske steder til verdensarvslisten.

I ansøgningen blev Stevns Klint foreslået optaget med udgangspunkt i tre af de 13 temaer:

Stratigrafiske lokaliteter: Bjergarts-sekvenser, der bidrager med nøgle-begivenheder i Jordens historie

Stevns Klint blev foreslået til dette tema på grund af den globale massedød ved Kridt-Tertiær-grænsen. Netop denne massedød afslutter den for almenheden mest velkendte forhistoriske dyreverden, dinosaurernes verden. Denne

nøglebegivenhed er særligt spektakulær, fordi den er knyttet til et asteroidenedslag, og Stevns Klint har derfor også en overordnet nøglerolle i forståelse af processer, som har indflydelse på livets udvikling på Jorden. Verdensarvslisten har ikke tidligere haft en lokalitet med en komplet Kridt-Tertiær-grænse-lagfølge og ingen lokaliteter, som dækkede global massedød. Dinosaur Provincial Park i Canada var allerede på verdensarvslisten med et overordentligt stort antal arter af Kridt-tids dinosaurer, men selve hændelsen med uddøen ved grænselagene er ikke dokumenteret der. Ansøgningen dokumenterede derved, at Stevns Klint opfyldte en del af temaet, som ikke allerede var repræsenteret på verdensarvslisten.

Meteornedslag:

Fysiske beviser på meteornedslag og overordnede ændringer som er resultater af dem, herunder uddøen

Stevns Klint blev foreslået optaget under dette tema fordi den indeholder vidnesbyrd for den spektakulære massedød koblet til nedslaget af en stor meteor (et asteroidenedslag), og fordi Stevns Klint spillede en nøglerolle i udforskningen af sammenhængen mellem asteroidenedslag og uddøen. På verdensarvslisten fandtes i forvejen et eksempel på de fysiske beviser for meteornedslag, Vredefort Dome i Sydafrika, men ingen, der som Stevns Klint, viser den globale effekt af et asteroidenedslag og de "overordnede ændringer, som er resultater af dem herunder uddøen" (oversat fra engelsk). Det var således helt åbenlyst, at der manglede en lokalitet med Kridt-Tertiær-grænsen på verdensarvslisten for at kunne opfylde en meget specifik del af dette tema. Dette tema blev derfor tillagt stor vægt både i ansøgningen og i det supplerende materiale, der efterfølgende blev udarbejdet til UNESCO under bedømmelsen af ansøgningen.

Fossil-lokalitet:

Oversigt over livet på jorden repræsenteret af bevarede fossiler

I ansøgningen blev det argumenteret, at Stevns Klint er en god fossil-lokalitet. Fossilerne repræsenterer samfund, som er karakteristiske for Sen Kridt og Tidlig Tertiær, artshyppigheden er høj og omfatter nanno-, mikro-, meso- og makrofossiler, og de fleste grupper af marine hvirvelløse dyr er repræsenteret. Bevaringstilstanden er generelt meget god og lokaliteten har stor betydning for studier af massedøden, og hastigheden og måden, hvorved den senere udvikling af dyregrupper skete, og giver derfor forståelse af grundlæggende evolutionære problemer. Der var ingen lokalitet på verdensarvslisten, som omfatter Sen Kridt og Tidlig Tertiær tidsafsnitene, og den komplette grænse mellem de to perioder. Dette tema supplerede således de to ovenstående, men kunne ikke stå alene.

Med gennemgangen af de ovenstående tre temaer fremgår det, at der er stærke argumenter for, at der bør være en lokalitet med Kridt-Tertiær-grænsen på verdensarvslisten under kriterium viii. Men det var også nødvendigt i ansøgningen at dokumentere, at Stevns Klint

var den lokalitet, der bedst kunne udfylde den rolle. Til dette formål blev udført en sammenlignende analyse af alle kendte lokaliteter hvor Kridt-Tertiær-grænsen er registreret.

Sammenlignende analyse af grænselokaliteter

I dag er der registreret mere end 500 lokaliteter, som dækker Kridt-Tertiær-grænsen. For at kunne udføre en detaljeret sammenlignende analyse var det nødvendigt at reducere antallet af lokaliteter således, at analysen kunne fokusere på de lokaliteter, som levede op til de basale krav set ud fra UNESCO's kriterium og IUCN's tre temaer beskrevet ovenfor.

De tre forudsætninger, som lokaliteterne i den detaljerede analyse skulle opfylde, blev defineret til at omfatte følgende:

1. Komplet lagserie: Lagfølgen skulle være komplet hen over Kridt-Tertiær-grænsen og omfatte de yngste Kridt-aflejringer og de ældste Danien-aflejringer. Dette skulle sikre, at hele hændelsen var repræsenteret med både livet før massedøden, selve begivenheden og den efterfølgende tilbagevenden af liv.



Lokaliteter med Kridt-Tertiær-grænsen som opfylder de tre forudsætninger og som blev inkluderet i den komparative analyse.

Illustration: Henrik Klinge Pedersen, GEUS.

2. Tydeligt og veludviklet grænselag: Grænselaget skulle have en litologi, der var tydeligt forskellig fra de underliggende Kridt-lag og de overliggende Danien-lag, og skulle indeholde den karakteristiske berigelse af iridium og andre sjældne kemiske elementer. Dette skulle sikre, at grænselaget var let at se for det utrænede øje og samtidig havde nøglekaraktererne fra asteroidenedslaget.
3. Velbeskrevet: Kridt-Tertiær-grænse-lokaliteten skulle være godt undersøgt og beskrevet. Denne forudsætning skulle sikre, at der var mulighed for at opnå vished for, at lokaliteten virkelig levede op til kriteriets krav.

Til testen af de mange lokaliteter blev anvendt en allerede eksisterende database, der indeholder data for alle kendte Kridt-Tertiær-grænse-lokaliteter (KTbase). Databasen er ikke offentligt tilgængelig, men en gennemgang og sortering i databasen blev med stor hjælpssomhed udført af professor W. Kiesling, Naturhistorisk Museum i Berlin.

Analysen viste, at i alt 43 grænselokaliteter opfyldte forudsætningerne om en komplet

udvikling af grænselagene samt en berigelse af iridium, og at yderligere otte muligvis var komplette. Disse lokaliteter blev efterfølgende testet for deres videnskabelige betydning i databaserne Web of Science og GeoRef. Af de i alt 51 lokaliteter viste de 17 lokaliteter sig at være velbeskrevne med mere end 10 videnskabelige artikler i en af databaserne.

De 17 lokaliteter dækker en række forskellige aflejningsmiljøer og er beliggende i 13 lande på 6 kontinenter.

Den sammenlignende analyse af de 17 lokaliteter fokuserede derefter på tre hovedtemaer:

- a. **Profilets tilstand, kvalitet og integritet** (fuldstændighed): Lokaliteten skal have høj kvalitet og bevaringsegenskaber og indeholde en klart defineret stratigrafisk lagserie.
- b. **Fossiler og biodiversitet**: Lokaliteten skal indeholde et højt antal af fossiler og fossilgrupper, og repræsentere den størst mulige mængde af de højere taxonomiske grupper.
- c. **Lokalitetens videnskabelige betydning**: Lokaliteten skal være af høj kvalitet med henblik på videnskabelige studier.

Profilets tilstand, kvalitet og integritet

Integritet er et nøgleord for verdensarvslokaliteter, hvor der lægges vægt på, at en lokalitet inkluderer alle de elementer, der er nødvendige for at vise lige præcis den fremragende universelle værdi, som lokaliteten søger optagelse for. I ansøgningen blev der fokuseret på selve grænselaget gennem en analyse af synlighed, udstrækning, blotningsgrad og bevaringspotentiale.

Grænselagets synlighed vægtes i bedømmelsen af lokaliteterne, da det er vigtigt for steder på verdensarvslisten, at alle besøgende let kan se lokalitetens primære kvaliteter. Derfor er det særligt vigtigt, at grænselaget kan ses med det utrænede øje. Grænsens horisontale udstrækning er en anden vigtig parameter for integriteten, fordi en stor udstrækning gør det muligt at bestemme den horisontale variation, og dermed skelne mellem lokale og globale signaler. Det er karakteristisk for alle lokaliteterne, at grænselaget er af begrænset tykkelse, og lokalitetens horisontale udstrækning er derfor yderst vigtig, da en stor udstrækning giver mere studiemateriale og derfor mulighed for indsamling

Lokalitet	Grænselagets synlighed			Horisontal udstrækning				Blotnings kvalitet			TOTAL
	Guide nødvendig	Vanskelig at genkende	Let at genkende	Mindre end få meter	Få meter	100 m – 1 km	> 1 km	Råstofgrav og vejskæring	Flod skæring	Kyst klint	
Stevns Klint			4				4			4	12
Seymour Island		2					4			4	10
Hell Creek		2					4	1			7
Brazos River		2					4		2		8
Caravaca			4		2			1			7
Ain Settara			4			3			2		9
El Kef	1					3		1			5
Agost			4	1				1			6
Mimbral		2				3			2		7
Raton Basin		2			2			1			5
Beloc		2				3		1			6
Nye Kløv		2			2			1			5
Woodside Creek			4		2			1			7
Elles		2				3		1			6
Gubbio			4	1				1			6
Hokkaido		2		1					2		5
Flaxbourne River	1				1			1			3

Vurdering af integriteten for de 17 lokaliteter som er inkluderet i den komparative analyse. Grænselagets synlighed er vurderet med 4 point for stor synlighed for det uøvede øje til 1 point, hvis en guide er nødvendig. Den horisontale udstrækning af grænselaget gives 4 point for en mere end 1 km lang blotning til 1 point for mindre end få meters blotning. Blotningens kvalitet gives 4 point for stadig erosion af en kystklint til 1 point for udgravninger og vejskæringer.

uden risiko for at beskadige lokaliteten med uhensigtsmæssig indsamling af prøver. Hori-
sontalt udstrakte profiler giver derved større
mulighed for at etablere bæredygtig beskyt-
telse af lokaliteten, og bidrage med profiler til
videre studier.

Omfanget af naturlig erosion er en anden
vigtig faktor for bevaringen, og i modsætning
til den typiske opfattelse af erosion i forbin-
delse med bevaring, så gælder det her, at en
høj grad af erosion er at foretrække. I blotnin-
ger i forladte råstofgrave og brud, vejskærin-
ger, dale og små vandløb er der almindeligvis
ingen eller kun begrænset erosion, og derfor
er der i disse lokaliteter problemer med til-
groning. Blotninger langs åer og floder kan lo-
kalt have kontinuerlig erosion, som holder lo-
kaliteten ren, men erosionen varierer, hvilket
resulterer i lav bevaringstilstand for lokale-
ten. Kystklinter derimod udsættes for naturlig
kontinuerlig erosion, hvilket bevarer en høj
blotningsgrad og god bevaring af lokaliteten,
da det mindsker risikoen for overdreven
prøveindsamling og tilgroning.

Analysen af profilet tilstand, kvalitet og
integritet viste, at Stevns Klint sammen med
fem andre lokaliteter havde et umiddelbart
synligt grænselag. Med hensyn til den hori-
sontale udstrækning scorede Stevns Klint
højest sammen med Hell Creek, Brazos River
og Seymour Island, der alle har over 1 km lan-
ge blotninger. Med hensyn til bevaringsmu-
lighederne var det Stevns Klint og Seymour
Island, som scorede højest. Analysen viste
således, at Stevns Klint samlet for de tre
scorede højest og derved havde den bedste in-
tegritet af alle undersøgte Kridt-Tertiær-græn-
selokaliteter.

Fossiler og biodiversitet

Fossilerne fortæller om udviklingshistorien
for dyr og planter hen over Kridt-Tertiær-
grænsen. Jo flere dyre- og plantegrupper, der
er til stede, jo flere studier kan der udføres
omkring tidspunktet for massedøden, om
graden af uddøen samt evnen til overlevelse
og tilbagevenden til normale tilstande efter
masseuddøen. Mikrofossiler er af størst be-
tydning, fordi de oftest forekommer i store
mængder selv i små prøver, men alle typer af
fossiler er inkluderet i dette kriterium, efter-
som lokaliteter med et højt antal af organis-
megrupper fortæller en mere komplet historie
om masseuddøen. For at sammenligne loka-

*Fossil-diversiteten for de 17
grænselagslokaliteter. Tilstede-
værelse af en hoved-fossilgrup-
pe giver maksimum 2 point,
mens et mindre betydende
antal fossiler giver 1 point.
Sporfossiler er betragtede som
mindre vigtige og gives derfor
maks. 1 point.*

liteterne er de overordnede taxonomiske
gruppers artsantal beregnet for hver lokalitet.

Seymour Island rangerer højest med alle
overordnede grupper repræsenteret. Stevns
Klint ligger på andenpladsen sammen med
tre andre lokaliteter på grund af fraværet af
makroflora. Stevns Klint har sammen med fi-
re andre lokaliteter en høj score i artsantal.
På det mere detaljerede niveau rangerer
Stevns Klint højt i artsantal og bevaringstil-
stand skønt en del kalkskallede fossiler er
opløst i Fiskeler Leddet, hvor kun få, robuste
foraminiferer er til stede.

*Den videnskabelige betydning
vurderet ud fra mængden af
publiceret litteratur. Der gives
1 point for 10-19 artikler og 5
for mere end 80 artikler.*

Fauna						
	Mindre fauna	Mikro flora	Makro fauna	Makro flora	Spor fossiler	Total
Stevns Klint	2	2	2		1	7
Seymour Island	2	2	2	2	1	9
Hell Creek		2	2	2	1	7
Brazos River	2	2	2		1	7
Caravaca	2	2	1		1	6
Ain Settara	2	2	2			6
El Kef	2	2	1		1	6
Agost	2	2	1		1	6
Mimbral	2			2	1	5
Raton Basin		2	2	2		6
Beloc	2	2				4
Nye Kløv	2	2	2		1	7
Woodside Creek	2	2				2
Elles	2	2			1	5
Gubbio	2	2				4
Hokkaido	2					2
Flaxbourne River	2	2				4

Lokalitetens videnskabelige betydning

Dette kriterium skulle vurdere lokalitetens vi-
denskabelige betydning og i analysen blev
både tidligere undersøgelser og muligheder-
ne for fremtidige studier indregnet. Data til
belysning af den videnskabelige betydning
blev indsamlet fra online databaserne Web of
Science og Georef. Denne metode blev vurde-
ret til at være den bedst egnede men har dog
visse svagheder, da ældre artikler ikke er
med i de to databaser. Ligeledes gælder det,
at søgninger i databaserne både gav antallet

Videnskabelig betydning						
	10-19	20-29	30-49	50-79	80+	Total
Stevns Klint				4		4
Seymour Island	1					1
Hell Creek				4		4
Brazos River			3			3
Caravaca			3			3
Ain Settara	1					1
El Kef					5	5
Agost		2				2
Mimbral		2				2
Raton Basin			3			3
Beloc		2				2
Nye Kløv	1					1
Woodside Creek	1					1
Elles	1					1
Gubbio	1					1
Hokkaido	1					1
Flaxbourne River	1					1

af relevante videnskabelige publikationer baseret på undersøgelser udført på den enkelte lokalitet, men kunne også omfatte publikationer, som blot refererede til lokaliteten, uden der i øvrigt var udført nye undersøgelser på den. Et eksempel er El Kef, som ofte refereres til, da den er typelokalitet - 'Global Stratotype Section and Point' (GSSP) for Kridt-Tertiær-grænsen.

Stevns Klint scorede højt i antal af videnskabelige publikationer: Kridt-Tertiær-grænsen i Stevns Klint har været studeret med et bredt spektrum af metoder, som ud over et meget stort antal studier med fokus på de mange organismegrupper også omfatter sedimentologiske studier af litologi og fysiske strukturer i grænselagene. Derudover er der udført geokemiske og mineralogiske studier omfattende lermineralogi, stabile isotoper og spor-elementer, herunder iridium og andre elementer fra platingruppen.

Den samlede analyse viste, at typelokaliteten El Kef er den mest citerede, mens Stevns Klint sammen med Hell Creek lå på en fælles andenplads.

Potentialet for fremtidig forskning blev vurderet ud fra en samlet betragtning over eksisterende forskning sammenholdt med lokalitetens kvalitet samt lokalitetens tilgængelighed. Af de 17 lokaliteter blev 13, inklusiv Stevns Klint, vurderet til at være let tilgængelige.

Det blev konkluderet, at Stevns Klint er blandt de tre mest studerede grænselokaliteter i verden, og samtidig har et højt potentiale for fremtidige studier, baseret på blotningsgradens høje kvalitet, den lette tilgængelighed og forskningshistorie.

Resume

Den sammenlignende analyse viste, at Stevns Klint opnåede den højeste score, da den scorede højest i integritet og var på en delt andenplads på hhv. fauna-analyse og videnskabelig betydning.

Seymour Island var næsthøjest i score, rangerede højest i kriteriet fossildiversitet, som inkluderer alle dyre- og plantegrupper, inklusiv en makroplanteflora, men grænselaget er ikke let at finde, og den videnskabelige betydning er lav. Derudover er lokaliteten vanskeligt tilgængeligt, da den ligger på Antarktis. På en delt tredjeplads kom Hell Creek og Brazos River. I Hell Creek findes grænselaget blottet i en dal og kan blive dækket af vegetation og nedfaldet materiale, og den kan

være vanskelig at finde eller helt forsvinde. I Brazos River er grænselaget blottet på en flodbund og flodbred og har højere potentiale for erosion, men på begge lokaliteter kan det være svært at finde grænselaget, hvorfor der kan være usikkerhed om hvilket lag, der faktisk repræsenterer grænsen. Typelokaliteten El Kef er heller ikke velegnet som verdensarvssted, da grænselaget er vanskeligt at finde, tilgængeligheden er vanskelig, og lokaliteten er i fare på grund af for stor prøveindsamling og landbrugsanvendelse.

Den sammenlignende analyse af en række betydende elementer omkring Kridt-Tertiær-grænselaget dokumenterede således, at Stevns Klint var enestående i forhold til alle de andre lokaliteter, som indgik i analysen. Stevns Klint er en klassisk geologisk lokalitet og er typelokalitet for den oprindelige definition af Danien, som den ældste enhed i Tertiær samt en af de første lokaliteter, hvor geokemiske studier understøttede hypotesen om det dramatiske asteroidenedslag, som påvirkede plante- og dyrelivet med massedød ved grænsen.

Den samlede konklusion blev derfor, at Stevns Klint har **enestående universel værdi** og er den bedste kandidat som en Kridt-Tertiær-grænselokalitet på UNESCO's verdensarvsliste.



Lokalitet	Integritet	Fauna	Videnskabelig betydning	Total
Stevns Klint	12	7	4	23
Seymour Island	10	9	1	20
Hell Creek	7	7	4	18
Brazos River	8	7	3	18
Caravaca	7	6	3	16
Aïn Settara	9	6	1	16
El Kef	5	6	5	16
Agost	6	6	2	14
Mimbral	7	5	2	14
Raton Basin	5	6	3	14
Beloc	6	6	2	12
Nye Kløv	5	7	1	12
Woodside Creek	7	2	1	12
Elles	6	5	1	11
Gubbio	6	4	1	11
Hokkaido	5	2	1	8
Flaxbourne River	3	4	1	7

Den samlede kumulerede score fra den komparative analyse.



Den klassiske Kridt-Tertiær-grænse-lokalitet står også frem foran andre lokaliteter ved dens naturskønne beliggenhed.

Foto: Jakob Lautrup, GEUS.

Beskyttelse af verdensarven

Der følger ingen særlig lovgivning med udpegningen til verdensarv, men for at opnå optagelse på verdensarvslisten og for at fastholde denne status er det nødvendigt at kunne dokumentere over for UNESCO, at stedets kerneværdier er godt beskyttet.

I forhold til dansk lovgivning har Stevns Klint en særlig beskyttelse, fordi den er udpeget som National Geologisk Interesseområde og som GeoSite, og der er i ansøgningen lagt vægt på, at den eksisterende lovmæssige beskyttelse er tilstrækkelig.

Klintens gode blotninger er en del af begrundelsen for stedets optagelse på verdensarvslisten og den naturlige bølgeerosions betydning for at opretholde friske blotninger er fremhævet i ansøgningen. Det er ret specielt for et verdensarvssted, at erosion er en positiv faktor i bevaringen, og det har været nødvendigt at fremhæve, at der med den nuværende erosionsrate vil kunne forventes gode blotninger de næste 20.000 år.

Blandt de største trusler mod klinten er et stigende besøgspres på grund af den nye status som verdensarv. Dette kan give problemer med affald og hærværk og med mere omfattende indsamling udført med varierende omhu. Allerede i klintens første sommer som verdensarv er det synligt, at der kommer flere gæster, der med hammer og mejsel angriber klinten og blokke på stranden. Nogle af disse gæster hamrer løs på klint og nedfaldne blokke uden forudgående kendskab og forsøger at redde sig et stykke Fiskeler med hjem, men efterlader store, grimme spor i klinten. Dette var forudsigeligt og også årsagen til at UNESCO har sat særligt fokus på denne trussel for Stevns Klint.

Den største forvaltningsopgave lige nu er derfor at få kommunikeret nogle simple regler til alle brugere af Stevns Klint, så der fremover både vil være gode blotninger at se på for den almindelige nysgerrige turist, samtidig med at dygtige amatørgeologers arbejde muliggøres og forskernes mulighed for indsamling sikres. Det er ambitionen i forvaltningen, at reglerne skal være få og simple, og at adgangen til at udføre forskning skal være let og ubesværet.

For at sikre Stevns Klint på verdensarvslisten har det været nødvendigt at præcisere gældende regler for indsamling:

Generelle regler for indsamling:

Brug ikke værktøj på selve klinten – den er privateje
Brug ikke værktøj på blokkene på stranden ved Højerup Gl. Kirke – her er kystbeskyttelse og derfor ingen erosion
Tag ikke prøver af Fiskeleret – det er verdensarv – efterlad det til de mange tusinde gæster, der er kommet hertil for at se Fiskeleret

Særlige forhold gældende for indsamling til forskning

Muligheden for indsamling er afgørende for fortsat forskning og for bevaring af fossiler fra Stevns Klint og skal sikres således, at indsamling fortsat kan ske inden for verdensarvsområdet.

Indsamling ud over den, som kan holdes inden for de generelle regler for indsamling (se ovenfor) kræver tilladelse. Østsjællands Museum har fået opgaven med at sikre bedst mulige forhold for indsamling fra såvel amatørgeologer som forskere og bistår med at sikre de nødvendige tilladelser inden for verdensarvsområdet.



Det underjordiske koldkrigsfort Stevnsfortet med 1,6 km lange tunneler er udgravet i Danien bryozokalk. De store bankestrukturer kan iagttages i tunnelgangene.

Foto: Jakob Laurrup, GEUS.

GEOCENTER DANMARK

GEOCENTER DANMARK

Er et formaliseret samarbejde mellem de fire selvstændige institutioner De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, samt Geologisk Museum (Statens Naturhistoriske Museum) begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

UDGIVER

Geocenter Danmark.

ISSN 1604-6935 (PAPIR)

ISSN 1604-8172 (ELEKTRONISK)

REDAKTION

Geviden – Geologi og Geografi redigeres af Seniorforsker Merete Binderup (ansvarshavende) fra GEUS i samarbejde med en redaktionsgruppe.

Geviden – Geologi og Geografi udkommer fire gange om året og abonnement er gratis. Det kan bestilles ved henvendelse til Annette Thy, tlf.: 91 33 35 03, e-mail: athy@geus.dk og på www.geocenter.dk, hvor man også kan læse den elektroniske udgave af bladet.

Produktion: Annabeth Andersen, GEUS.

Tryk: Rosendahls - Schultz Grafisk A/S.

Forsidefoto: Det klassiske Stevns Klint profil med grænselaget, som er let genkendeligt lige under det markante overhæng.

Foto: Jakob Laurrup, GEUS.

Reprografisk arbejde: Benny Scharck, GEUS.

Illustrationer: Forfattere og Grafisk, GEUS.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.



GEUS

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND (GEUS)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk



INSTITUT FOR GEOVIDENS KAB OG
NATURFORVALTNING (IGN)

Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: sl@life.ku.dk



INSTITUT FOR GEOSCIENCE

Aarhus Universitet
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Århus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk

GEOLOGISK MUSEUM (SNM)

Øster Voldgade 5–7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: rcp@snm.ku.dk

DANMARK

PP

Magasinpost UMM
ID-nr. 46439