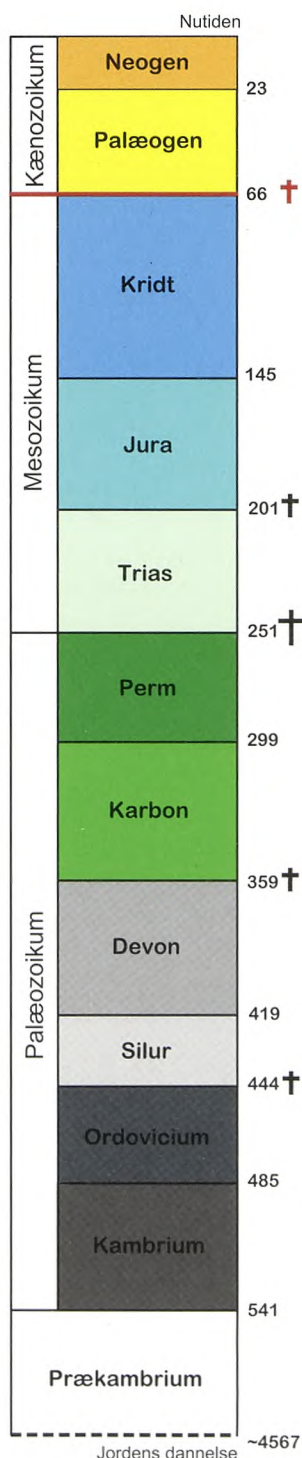


Asteroidenedslag på Jorden og dinosaurernes endeligt – spor i Stevns Klint

Af Ane Elise Schrøder, Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet

Et ganske tyndt lag af ler i Stevns Klint indeholder ekstraterrestriske spor fra dengang de landlevende dinosaurer og mere end halvdelen af alt liv på Jorden uddøde under en kæmpe naturkatastrofe. Dette lerlag, Fiskeleret, markerer slutningen på Kridttiden og begyndelsen på en ny æra. Sporene fortæller historien om, hvordan en asteroide kolliderede med Jorden for omkring 66 mio. år siden og var medvirkende til én af de største masseuddøener i livets historie. Stevns Klint er en klassisk lokalitet for studier af Kridt–Palæogen-grænsen og oplagt at besøge i forbindelse med feltundervisning i gymnasiet.



Stevns Klint – grænsen mellem Kridt- og Palæogen-tiden

Grænsen, der markerer tidspunktet for den femte store massedød og de landlevende dinosaurers uddøen, benævnes i ældre litteratur Kridt–Tertiær-grænsen. Det er tilsvarende grænsen mellem de to æraer Mesozoikum og Kænozoikum. I nyere tid har man imidlertid opdelt perioden “Tertiær” i to nye perioder: det ældre Palæogen og yngre Neogen (figur 1). Mange anvender dog fortsat “Kridt–Tertiær-grænsen”. Stevns Klint indeholder et af verdens mest illustrative eksempler på denne grænse.

I Sen Kridt fra ca. 99–66 mio. år siden steg Jordens havniveau, og i slutningen af denne periode var store dele af det nordvestlige europæiske kontinent dækket af et dybt hav – Kridthavet – og havspejlet har formentlig været 100 meter højere end i dag (figur 2). I denne periode skete der en opblomstring af fotosyntetiserende, kokkolitoforide alger, der levede i de øverste vandmasser [1]. Kridtlagene nederst i Stevns Klint og Møns Klint er primært opbygget af skaller fra disse alger. En kokkolitoforid danner små cirkulære til ovale kalkplader, der opbygges til en sammenhængende sfære, der omgiver den encellede organisme. Disse kalkplader kaldes kokkolitter. En kokkolitoforid alge er normalt mindre end 30 μm i diameter (figur 3). Da kokkolitoforiderne døde, sank kokkolitterne til oceanbunden og indgik i havbundens aflejringer, hvor de dannede kokkolitslam. Det er dette kalkslam, der sammen med andre kalk-nannofossiler, bliver til det “skrivekridt”, som netop kendetegner den geologiske periode Kridt [2]. Der skelnes imidlertid mellem tidsperioden Kridt og bjergarten kridt, da “kridt”, dvs. kalk = CaCO_3 , også kendes fra andre geologiske tidsperioder. I slutningen af Kridt koloniserede bryozøer, eller mosdyr, som de også kaldes på dansk, havbunden og dannede små banker. Bryozøer er små kolonilevende invertebrater, der får næring ved at filtrere det omgivende vand [1].

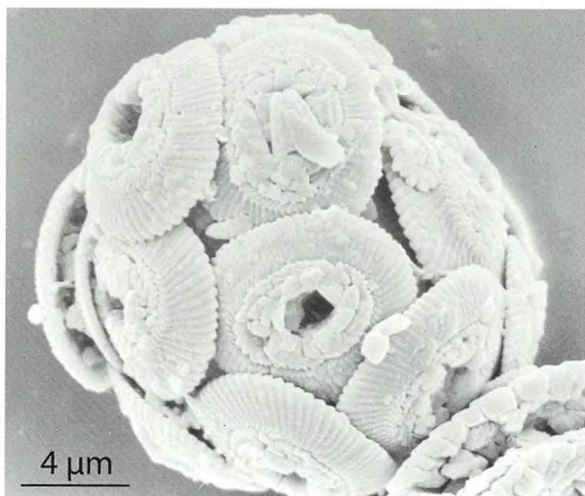
Kokkolitoforider og bryozøer var blandt de organismegrupper, der overlevede og krydsede K–Pg-grænsen, og aflejringer af kalk blev genoptaget i Palæogen efter

Figur 1. Geologisk tidsskala vist i mio. år. De fem største masseuddøener i livets historie er markeret med kors. Kridt–Palæogen-grænsen er markeret med rød linje samt rødt kors.



Figur 2. I Sen Kridt var det meste af det nordvestlige europæiske kontinent dækket af Kridthavet.

en relativt kort pause ved selve grænsen. Fiskeleret, det tynde, mørke lerlag, der markerer K–Pg-grænsen, ses aflejret i små trug mellem bryozobankerne fra Sen Kridt. Bryozoerne dannede prominente, store banker i begyndelsen af Palæogen, som ses i den øverste del af Stevns Klint. De sorte flintebånd i klintens udhæng markerer tydeligt bryozobankernes geometri og dimensioner (figur 4).



Figur 3. Nutidig kokkolitoforid [10].

På verdensplan kendes mere end 500 geologiske lokaliteter, der indeholder grænsen mellem Kridt og Palæogen. Gubbio i Italien, El Kef i Tunesien og Hell Creek i USA er blot nogle få af de kendte lokaliteter, som Stevns Klint er sammenlignelig med [2].

Iridiumberigelse – spor fra asteroiden

I 1978 satte den amerikanske geolog Walter Alvarez sig for at finde ud af, hvor meget tid det tynde grænselag repræsenterer. Sammen med sin far, nobelpristager i fysik Luis Alvarez, målte de på det relative iridiumindhold i grænselagene ved Gubbio i det nordlige Italien. Denne lokalitet er ligesom Stevns Klint dybhavskalkaflejringer, og grænselaget er et tyndt lerlag. Grundstoffet iridium hører til platinmetallerne. I større mængder findes stoffet kun i Jordens indre og i nogle typer af asteroider. Stoffet er sjældent i Jordens skorpe. Hvis

man således har iridium afsat på Jordens overflade, skyldes den næsten udelukkende ekstraterrestrisk støv fra meteoriter og meteoritter. Mængden af iridium, der afsættes på overfladen, er ekstremt lille og nogenlunde konstant. Ud fra antagelsen om, at Jorden modtager en konstant mængde ekstraterrestrisk støv fra rummet, var ræsonnementet, at de kunne måle på det relative indhold af platinmetallet og således beregne ændringer i aflejringshastigheden [3].

Er der fisk i Fiskeleret?

I litteraturen er “Fiskeler” første gang anvendt i 1849. Det er Johan Georg Forchhammer, der refererer til grænselaget som et “Leerlag med talrige fiskefossiler” og “Fiskeleer”. I hans afhandling nævnes, at der er talrige uarticulerede fiskefossiler i laget, men at kun et enkelt næsten komplet fiskefossil kendes. Dette stykke er i dag udstillet på Østsjællands Museum. Undersøger man for eksempel fiskeleret i mikroskop, kan man være heldig at finde spredte samlinger af små fiskeknogler [9].

Da de målte på grænselaget i Gubbio, fandt de imidlertid en koncentration langt højere end forventet i det tynde grænselag. I grænselaget var iridiumberigelsen omkring 30 gange højere end baggrunds niveauet i lagene over og under (figur 5). Var iridiumberigelsen et lokalt udslag for området i Italien, eller kunne det påvises globalt for Kridt–Palæogen-grænsen? Walter Alvarez tog derfor til Stevns Klint ved Højerup i Danmark for at tage prøver af Fiskeleret. Da prøverne blev analyseret i laboratoriet, fandt Alvarez og hans kollegaer en iridiumberigelse, der ikke blot var 30 gange, men 160 gange højere end baggrunds niveauet! Prøverne fra Stevns Klint bekræftede altså, at hele Jorden havde været udsat for en stor mængde ekstraterrestrisk input ved Kridt–Palæogen-grænsen [3]. Iridiumberigelsen i grænselaget dannede basis for hypotesen om, at et asteroidenedslag havde forårsaget massedøden på grænsen mellem de to perioder [4].

Teorien præsenterede Walter Alvarez første gang i 1979 på en konference i København, og resultaterne blev i 1980 udgivet i tidsskriftet Science [4, 5].

En ny hypotese – et paradigmeskift

I 1980’erne affødte asteroidehypotesen en voldsom debat i de videnskabelige samfund. Inden hypotesen blev fremsat, mente man, at massedøden ved Kridt–Palæogen-grænsen var foregået gradvist over lang tid, og primært skyldtes ekstrem vulkansk aktivitet i det nordlige Indien. I slutningen af Kridttiden skete der et større fald i havniveau, og den indiske kontinentalplade bevægede sig mod Asien ind over et hotspot. Dette gav anledning til omfattende vulkanisme, Deccan Trap-vulkanfeltet [5]. Udbruddene skete i form af såkaldte sprækkevulkaner, hvor lava flyder op i lange sprækker over enorme områder. Samtidig med, at lavaen strøm-



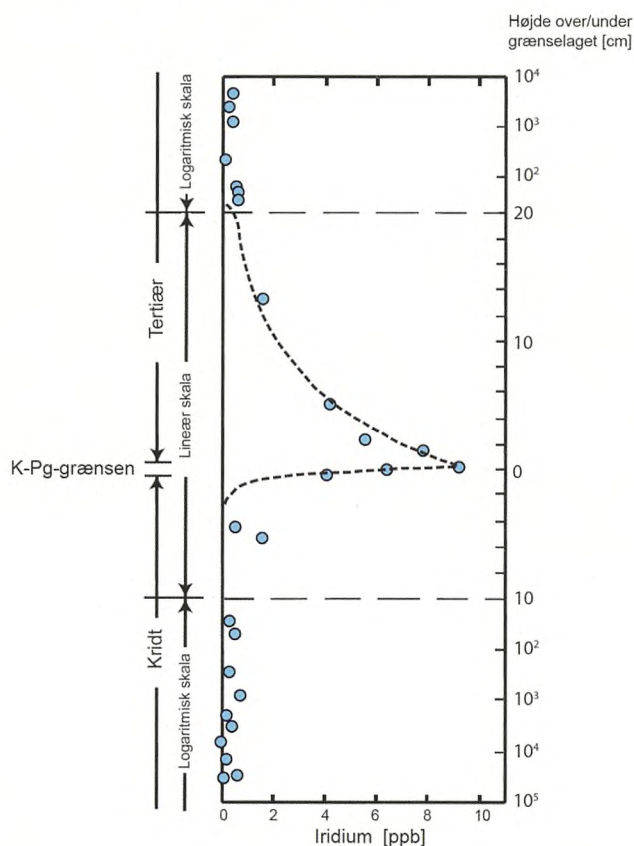
Figur 4. A. Stevns Klint, billedet er taget ved den kendte Højerup-lokalitet, nord for Højerup Gl. Kirke. Her ses grænselaget, Fiskeleret, i midten af klinten lige under udhænget. B. Den nederste del af klinten hører til den geologiske periode Kridt, hvorimod den øverste del (udhænget) hører til perioden Palæogen. De mørke, buede linjer i klintens udhæng er flintebånd og markerer bryozobankernes geometri.

mer ud over Jorden, vælter der mængder af støv, aske og gas op i atmosfæren. Sprækkevulkaner kendes i dag fra både Hawaii og Island. Deccan Trap-vulkanismen ville have haft stor indvirkning på klimaet, svækket globale økosystemer og forårsaget uddøen i mange organismegrupper [2]. Denne gradvise form for uddøen var fuldstændig i tråd med James Huttons idé og Charles Lyells teori om uniformitarisme. Denne teori havde gennemsyret forståelsen af geologi og biologi i det 19. og langt op i det 20. århundrede. Teorien tager udgangspunkt i, at de processer, som former Jorden i nutiden, var de samme i fortiden, og processerne og

dertilhørende ændringer sker gradvist over lang tid, og ikke hurtigere end det kan observeres i nutiden [6].

Asteroideteorien stod i direkte modsætning til den uniformitarisme og blev derfor betragtet som særdeles tvivlsom af geologer og palæontologer. Asteroidenedslaget ville, i et geologisk perspektiv, have forårsaget en øjeblikkelig massedød, gigantiske jordskælv og tsunamier. Resterne af den eksploderende asteroide og en stor del af jordskorpen ved nedslagspunktet ville være blevet slynget ud i stratosfæren og have indhyllet Jorden i fuldstændigt mørke. Fotosyntetiserende organismer, som udgør de basale led i fødenet, både terrestrisk og marint, ville hurtigt dø ud. Herefter ville

massedøden sprede sig, og fødenettene kollapse som et korthus, hvor bunden trækkes ud.



Figur 5. Det relative iridiumindhold vist i ppb [parts per billion], dvs. del per mia. i dybhavskalksten fra Gubbio i Italien. Grafen er baseret på Alvarez' oprindelige resultater udgivet i Science [4].

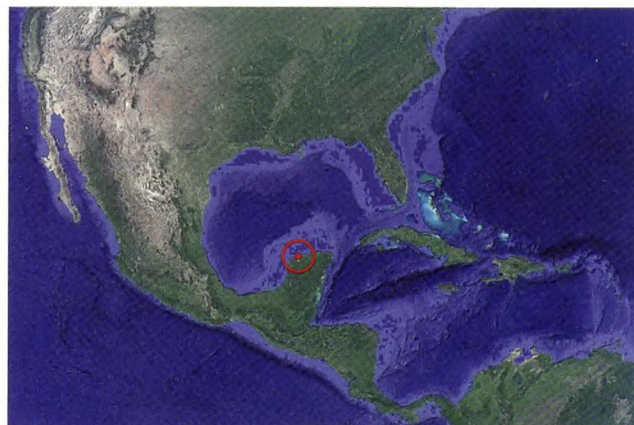
Alvarez' gruppe havde ud fra iridium-anomalien beregnet, at asteroiden ville have haft en størrelse på omkring 10 km i diameter og skabt et nedslagskrater på omtrent 150 km. Da hypotesen blev fremsat, kendte man imidlertid ikke til et nedslagskrater af denne størrelsesorden, der var samtidig med K-Pg-grænsen [4].

Olieforskning ved Yucatan: Chicxulub-krateret

I 1991 fandt man imidlertid et krater, der var sammenfaldende med K-Pg-grænsen. Det skete i forbindelse med olieefterforskning i den Mexicanske Golf via studiet af borekerner og geofysiske data. Den ene halvdel af krateret ligger under havbunden ud for Yucatan-halvøen, og den anden halvdel ligger under selve halvøen. Kraterets centrum ligger tæt ved byen Chicxulub og er opkaldt herefter [7] (figur 6).

I dag er det generelt accepteret, at den femte store massedød i livets historie kan knyttes til asteroidenedslaget. Dette blev især understøttet, da man fandt og daterede Chicxulub-krateret og fandt kvarts med chokolameller i grænselaget. Hvilken synergieffekt, nedslags-tidspunktet har haft med Deccan Trapvulkanismen i Indien, diskuteres dog fortsat, ligesom nedslagsstedet menes at have haft afgørende betydning. Sedimenterne i undergrunden ved Yucatan var og er særdeles svovlholdige og rige på kulbrinter, og nyere studier indikerer, at dette har haft direkte betydning for katastrofens omfang. Et asteroidenedslag i den type sedimenter vil

sende en katastrofal mængde sod og sulfat-aerosoler op i stratosfæren, hvilket ville forårsage ekstremt mørke, global nedkøling, voldsom tørke og syrerregn [8]. Asteroidenedslaget i sig selv ville have udløst energi svarende til 100 mio. megatons TNT. Det er ca. en mia. gange atombomben, der blev kastet over Hiroshima under 2. verdenskrig [5].



Figur 6. Markering af Chicxulub-krateret under Yucatan-halvøen. Den yderste koncentriske ring i krateret har en diameter på ca. 200 km.

UNESCO Verdensarv

Stevns Klint blev i 2014 netop optaget på UNESCOs liste over verdensarv, fordi den dramatiske nøglebegivenhed i Jordens historie gemmer sig i klintens geologi. Stevns Klint er med andre ord en exceptionel lokalitet, også selvom lokaliteten ligger langt fra nedslagsstedet. Klintens lagserie, iridium-anomalien i Fiskeleret og fossilindholdet i lagene viser tydeligt de globale ændringer, asteroidenedslaget medførte: En skæbnesvanger naturkatastrofe og udryddelse af mange forskellige livsformer på Jorden. De landlevende dinosaurer, mange grupper af fugle, havøgler, flyveøgler, ammonitter (uddød gruppe af blæksprutter) og mange grupper af kokkolitoforider er blot nogle få af de mange organismegrupper, som uddøde. Den evolutionære, marine turn-over afspejles i klintens fossilindhold, bl.a. findes fossile ammonitter og fossile tænder fra havøgler i lagene under Fiskeleret, hvorimod grupperne er forsvundet over grænselaget.

Hvad er UNESCO-verdensarv?

UNESCOs Verdensarvsliste er en udpegning af verdens mest værdifulde og unikke steder, der betragtes som hele menneskehedenes fælles arv. UNESCO er FN's organisation for uddannelse, videnskab og kultur. Stevns Klint opfylder følgende af UNESCOs krav til geologiske steder på listen [5]:

- lagrækkefølger, der dokumenterer nøglebegivenheder i Jordens historie
- fysiske beviser for meteornedslag og de store ændringer, disse har medført, f.eks. masseuddøen

Den store videnskabelige betydning, som Stevns Klint har haft, var ét af argumenterne for UNESCO-nomineringen. Stevns Klint er vurderet til at være det bedste sted i verden at se og studere grænsen mellem Kridt og Palæogen – og man behøver ikke at være ekspert! Hvis man tager til Højerup er laget ganske tydeligt som det eneste mørke lerlag mellem det bløde, lyse skrivelag og udhænget af bryozokalk (figur 3).

Litteratur

- [1] G. Larsen, K. Sand-Jensen (2006) "Naturen i Danmark: Geologien", Gyldendal A/S, København, 2. udgave, 1. oplag, side 168–180.
- [2] A. E. Schrøder (2015) "Guidemanual og supplement. Stevns Klint. Undervisningskompendium", 1–12 og 1–2. Stevns Museum, Østsjællands Museum.
- [3] T. Damholt og F. Surlyk (2014) "Stevns Klint – ny dansk verdensarv", *Geviden – geologi & geografi*, nr. 3, 19 sider.
- [4] L. Alvarez, W. Alvarez, F. Asaro og H. V. Michel (1980) "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction", *Science*, bind 208, side 1095–1108.
- [5] T. Damholt og F. Surlyk (2012) "Nomination of Stevns Klint for inclusion in the World Heritage List", Østsjællands Museum, 160 sider.
- [6] S. Stouge, D. A. T. Harper og L. Andersson (2010) "Darwin som palæontolog", *Geviden – geologi & geografi*, nr. 1, 20 sider.

- [7] A. R. Hildebrand, G. T. Penfield, D. A. Kring, M. Pilkington, Z. Antonio-Camargo, S. B. Jacobsen og W. V. Boynton (1991) "Chicxulub Crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico", *Geology*, bind 19, side 867–871.
- [8] K. Kaiho og N. Oshima (2017) "Site of asteroid impact changed the history of life on Earth: the low probability of mass extinction", *Scientific reports*, bind 7, artikelnummer 14855, 12 sider.
- [9] J. Milàn og W. Schwarzhan (2016) "Fisken i Fiskeleret – et gammelt mysterium oprævles", *Aktuel Naturvidenskab*, nr. 6, side 2–28.
- [10] Wikimedia commons (2012), billedet er efterfølgende redigeret.



Ane Elise Schrøder er erhvervs-ph.d.-studerende ved Museum Mors og Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet. Hun har arbejdet med geologien og palæontologien på Stevns i forbindelse med forskningsprojekter og tidligere ansættelser ved Østsjællands Museum.

Et efterår i medaljernes tegn

Af Dorte Olesen, Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU)

I efteråret 2019 vil der i SNU blive uddelt 3 medaljer, der alle ledsages af et legat sponsoreret af firmaet Ørsted.

Vi starter den 16. september med at høre et foredrag af prisvinderen og give en sølvmedalje for fremragende forskningsformidling til professor Thomas Bolander, DTU Compute. I indstillingen til medaljen står bl.a.:

"Thomas Bolander er en formidler helt i særklasse. Han forsker i kunstig intelligens (AI), i grænseområdet mellem logik, matematik og computer science – og han brænder for både forskning og formidling af sine fag.

Han har fået DTUs pris som årets underviser og skrevet et kapitel i en gymnasie matematikbog, hvor han trækker tråde til den nyeste forskning i AI, og han har i mere end 10 år holdt store offentlige foredrag om AI i mange sammenhænge og fora – det gælder bl.a. Folkemødet på Bornholm, Tech Fest, Science & Cocktails, BLOOM, og i SNU.

På Forskerzonen.dk skriver han tekster, laver podcasts og videoer, og han er med i SIRI-kommissionen, der skaber debat om brugen af AI i Danmark.

Hans evne til at engagere sit publikum er legendarisk, og han forstår at skabe en spændende og kon-

struktiv dialog med sit publikum – som fx når han afspiller et stykke musik komponeret i barokken og et stykke komponeret af en robot, der har lært noget om barokmusikkens regler, og sætter det til afstemning blandt publikum, hvad der er det ægte, og hvad der ikke er. Det giver anledning til muntre episoder, når mange gætter forkert, men bagefter virkelig begynder at forstå, hvad en robot kan og ikke kan."

Senere på efteråret uddeles guldmedaljen for første gang i 30 år, idet firmaet Ørsted i forbindelse med 200-året for Ørsteds opdagelse af elektromagnetismen har sponsoreret to guldmedaljer, en til kemi og en til fysik. Udover selve medaljen får modtageren et medfølgende rejselegat på 75.000 kr. Guldmedaljevinderen vil også holde et offentligt foredrag den 28. oktober.

Og sidst på sæsonen uddeles den efterhånden traditionsrige bronzemedalje til en inspirerende gymnasie-lærer, denne gang ledsaget af både et rejselegat til modtageren og et beløb til et projekt på skolen, sponsoreret af Ørsted. Husk, at både rektorer, kollegaer og elever kan sende indstillinger til snu@naturvidenskab.net senest den 29. oktober 2019.