

Paleontologie in het kort

Deel I. Eencelligen en Planten

door Trudi Buntsma

Inleiding

Hoe zit de wereld van de fossielen in elkaar? Wat is hun plaats tussen de levende organismen?

Vaak lijken ze op levensvormen die wij ook nu nog om ons heen hebben – slakken waren er al heel lang, en schelpen en varens ook. Maar vele wezens zijn uitgestorven en hun relatie tot de nog wél levende natuur is dan vaak niet zonder meer duidelijk. Daarom volgt hier in grote stappen een tocht door de systematiek die voor de levende materie is opgesteld en waarin ook de fossielen een passende plaats hebben gekregen. En dat zijn er heel wat, sinds ongeveer 570 miljoen jaar geleden veel dieren een kalkskelet gingen bouwen en de fossilisatiekansen, voordien maar spaarzaam aanwezig, plotseling enorm toenamen.

De meeste aandacht van degenen die fossielen zoeken gaat doorgaans uit naar de overblijfsels van dieren die door hun kalkskelet het best bewaard zijn. Maar het terrein van de paleontologie (= kennis van het oude leven) omvat meer dan fossiele dieren alleen.

Wat is een fossiel?

Een fossiel is een overblijfsel van een plant of dier, dat versteend is. Om grensgevallen (zoals bladafdrukken die recent zijn ontstaan bij warme bronnen met sterk kalkhoudend water) te voorkomen, stellen de meeste paleontologen, dat een overblijfsel ouder moet zijn dan 10.000 jaar, dus moet dateren van voor het begin van het Holoceen, het tijdvak waarin wij nu leven.

De eis dat het overblijfsel versteend is kan nu vervallen.

Een bevroren mammoet, waarvan het vlees nog eetbaar is, is dus fossiel indien hij ouder is dan 10.000 jaar.

Een overblijfsel van een plant of dier heeft de beste kans om te fossiliseren, als het wordt afgesloten van de zuurstof uit de buitenlucht voordat het verrot is. Meestal verrotten de zachte delen van een dier voordat deze afsluiting een feit is en daarom vind je vooral harde delen als fossiel, dus schelpen, schalen, tanden en botten. Die afsluiting van zuurstof vindt meestal plaats door afdekking met sediment: zand of klei, soms door insluiting in hars (barnsteen), door invriezen (mammoet) of uitdroging (mummificatie, er was geen circulatie van zuurstof mogelijk). Soms wordt het water zuurstofloos (zoals bij waterbloei). In afb. 1 staat een aantal voorbeelden van fossilisatie.

Door samendrukking van waterhoudende sedimenten kan het fossiel platgedrukt worden. Door deformatie (door b.v. plooiing) worden niet alleen de sedimenten, maar ook de fossielen daarin vervormd.

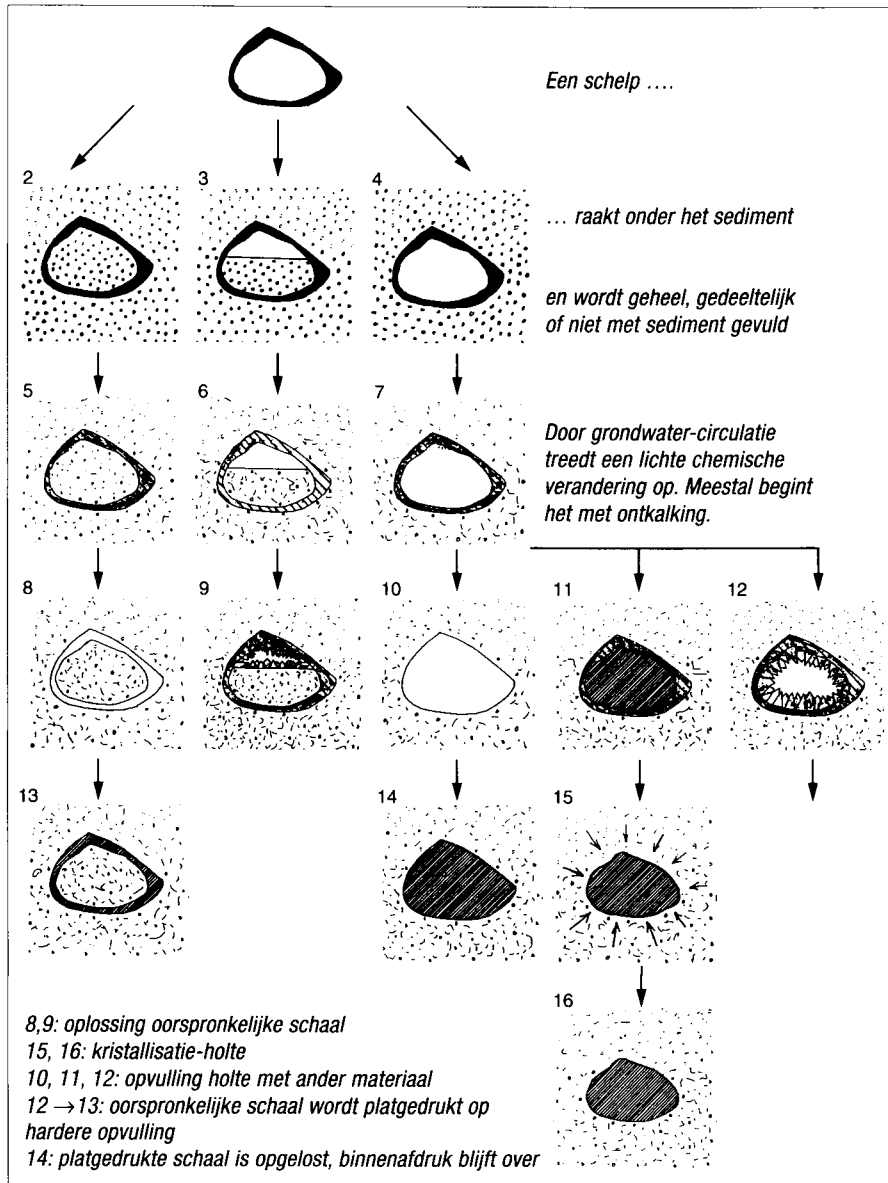
Een paar andere voorbeelden van fossilisatie zijn:

Verkoling: deze komt voor bij planten.

De organische stoffen, die bestaan uit ketens van koolstofatomen met zuurstof- en waterstofatomen, raken bij verkoling deze zuurstof- en waterstofatomen kwijt.

De koolstof blijft grotendeels achter.

Afb. 1. Fossilisatie



Voorbeelden zijn steenkool en git. (Dit is koolstof met 12% minerale olie (wat bewijst dat het in zee is gevormd) en sporen van aluminium, silicium en zwavel. S.g.=1.3; hardheid 3 à 4 op de schaal van Mohs; schelpvormige breuk.)

Verkalking treedt op bij bijna alle fossielen, er is omzetting in calciet: CaCO_3 en naar kalksteen.

Bij **dolomitiseren** is er omzetting in dolomiet (wat niet makkelijk te onderscheiden van is van verkalking): $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Bij **pyritiseren** is er vervanging door Fe_2S .

Bij **verkiezeling** komt vervanging door kiezelzuur SiO_2 voor.

Opaliseren is de omzetting in opaal.

Dan is er nog de omzetting in **sideriet** (FeCO_3): bijv. bij twee-kleppige schelpen, en omzetting in **vivianiet** van botten en kiezen: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

In zeldzame gevallen komen ammonieten met parelmoer voor, deze bezitten hun oorspronkelijke schelp nog. Ook de kleur wordt alleen in uitzonderlijke gevallen bewaard. Pseudofossielen lijken op fossielen, maar ze zijn het niet. Een fossiel moet wel als zodanig herkenbaar zijn. Een steen met de uitwendige vorm van een vis is daarmee nog geen fossiel!

De geologie

Fossielen zitten in sedimentgesteenten, deze zijn veelal opgebouwd uit verweringsproducten. We zullen daarom even bij verwerking stilstaan.

Verwerking

Er is mechanische en chemische verwerking. Onder mechanische verwerking vallen:

Vorstverwerking: water dringt in poriën van het gesteente en zet uit bij vriezen. Dit leidt tot haarscheurtjes. Door herhaald vriezen en dooien groeien de haarscheurtjes uit tot grote scheuren en op een gegeven moment breekt het gesteente. De ontstane steenbrokken zijn hoekig van vorm.

Insolatie: door grote temperatuurverschillen tussen dag en nacht (b.v. in de woestijn) ontstaan spanningen in het gesteente, die op den duur tot scheurvorming leiden.

Biologische verwerking: wortels van planten, vooral bomen, dringen in spleten van het gesteente. De wortels worden dikker en scheuren de steen. Steenbreek (de naam zegt het al) is een voorbeeld uit de tuin.

Drukontlasting: als een flinke laag gesteente is weggeërodeerd, valt voor het onderliggende gesteente een enorme druk weg. Hierdoor ontstaan scheurtjes evenwijdig aan het oppervlak.

erosie: schurende werking van klei, zand, grind, stenen, vervoerd door wind, beken, rivieren, gletsjers.

Bij mechanische verwerking verbrokkelt het gesteente slechts, maar bij chemische verwerking lost het gesteente op. Onder chemische verwerking wordt o.a. verstaan:

oxydatie: b.v. pyriet of sideriet wordt omgezet in hematiet of limoniet;

hydratatie: opname van kristalwater (b.v. anhydriet wordt gips);

hydrolyse: b.v. veldspaat wordt kaolienaarde.

Sedimentgesteenten

De zo ontstane verweringsdeeltjes kunnen worden getransporteerd door wind, beken, rivieren, gletsjers en zwaartekracht, en worden elders weer afgezet als leem, klei, zand en grind.

Zo kunnen dikke lagen sediment ontstaan.

Andere soorten sedimentgesteenten zijn:

Chemische sedimenten: neerslag uit oplossingen, die verdampen (= evaporieten); oolieten (Grieks *oōn* = ei, het gesteente lijkt namelijk op viskuit) ontstaan door afzetting van kalk rond een klein kerntje. Zo groeien er balletjes op de zeebodem. De grootte

van de balletjes is afhankelijk van de energie van het water.

Organogene afzetting: afzettingen van organische oorsprong, b.v. veel kalkstenen, veen, bruinkool, steenkool.

De losse afzettingen worden een vast gesteente door o.a. water-uitdrijving, compactie, cementatie en mineralogische verandering. Dit proces heet *diagenese* voor zover het plaats vindt bij temperaturen lager dan ongeveer 300 °C. Bij hogere temperaturen leidt het tot *metamorfose*. Bij metamorfose gaan de fossielen meestal verloren.

Ouderdom

Niet alleen amateur-fossielzoekers willen graag weten hoe oud hun fossielen zijn.

Hoe kan de ouderdom van gesteentenlagen bepaald worden?

Door te bedenken, dat oudere lagen eerder zijn afgezet dan jongere, spreekt het vanzelf, dat de oudste lagen onder liggen. Dit beginsel heet *superpositie*.

Zo kan met behulp van de *stratigrafie* (= beschrijving van lagen) de *relatieve* ouderdom bepaald worden. Door middel van gids-fossielen (dit zijn fossielen die geologisch gezien als soort zeer korte tijd geleefd hebben en verspreid waren over een groot gebied) is de relatieve ouderdom van lagen die ver uit elkaar liggen te correleren. Plooiën, breuken, overschuivingen en dekbladen kunnen deze *correlatie* (onderlinge vergelijking van de lagen) erg lastig maken.

Er zijn ook methoden om de *absolute* ouderdom van de lagen, en dus van de fossielen erin, te bepalen. Deze *geochronometrie* berust op het voorkomen van radioactieve isotopen. Een voorbeeld is de ^{14}C -methode.

Als een dier of plant leeft, bevat het organisme koolstof, waarvan een zeker percentage radioactief is. Wanneer het dier of de plant sterft, begint het verval van ^{14}C naar ^{12}C . Om de ouderdom van een dierlijke of plantaardige rest te bepalen wordt het percentage ^{14}C ten opzichte van ^{12}C bepaald. Met behulp van de halfwaardetijd van koolstof (dit is de tijd dat de helft van alle ^{14}C is omgezet), is de ouderdom van het te onderzoeken object te bepalen.

Bij zeer kleine hoeveelheden ^{14}C is het moeilijk om een juist percentage vast te stellen. Voor oude resten of gesteenten moet dus een radioactief element gezocht worden met een langere halfwaardetijd.

Enkele voorbeelden zijn: kalium-argon (^{40}K vervalt tot ^{40}Ar), deze methode is inmiddels achterhaald; argon-argon (^{40}Ar vervalt tot ^{39}Ar); rubidium-strontium (^{87}Rb vervalt tot ^{87}Sr); uranium-lood (^{234}U en ^{235}U vervallen tot Pb); thorium-lood (^{232}Th vervalt tot Pb).

De geologische tijdschaal (tabel I)

Aan de hand van de kennis van de *geochronologie* is in de loop van de tijd de geologische tijdschaal samengesteld. Hierin staan de tijdseenheden, met de oudste onderaan; bovenaan staat het heden. De tijdschaal is verdeeld in Eons, Era's, Periodes, Tijdvakken en Tijden. Wat betreft de Eons hebben we het Azoicum, waarin geen leven voorkwam, en het Kryptozoicum, waarin "verborgen" leven voorkwam (dit betekent dat fossielen moeilijk of slechts met een microscoop te herkennen zijn). Daarna komt het Fanerozoicum, dat is de Eon waarin duidelijke fossielen gevormd zijn. Dit is dus de Eon waarin wij vooral geïnteresseerd zijn.

De Eon Fanerozoicum is verdeeld in drie Era's, namelijk het Paleozoicum (ofwel het Oude leven), het Mesozoicum (de Middeleeuwen van het leven) en het Kenozoicum (het Nieuwe leven).

De Era's zijn in Periodes ingedeeld, met de bekende namen Cambrium, Ordovicium, Siluur, Devoon, Carboon, Perm, Trias, Jura, Krijt, Tertiair en Kwartair.

De Tijdvakken vormen een verdere onderverdeling. Voor het Kenozoicum gelden: Paleoceen, Eoceen, Oligoceen, Mioceen, Pliocene,

miljoen jaar	Hoofdtijdperk	Periode		Tijdvak	
		Systeem		Serie	
24	KENOZOICUM	KWARTAIR	PALEOG. NEOG.	HOLOCEEN	
				PLEISTOCEEN	
		TERTIAIR		PLIOCEEN	
				MIOCEEN	
				OLIGOCEEN	
				EOCEEN	
65	MESOZOICUM	KRIJT		BOVEN-KRIJT	
				ONDER-KRIJT	
		JURA		BOVEN-JURA	MALM
				MIDDEN-JURA	DOGGER
				ONDER-JURA	LIAS
		TRIAS		BOVEN-TRIAS KEUPER	
			MIDDEN-TRIAS MUSCHELKALK		
			ONDER-TRIAS BONTZANDSTEEN		
			230	PERM	BOVEN-PERM ZECHSTEIN
		ONDER-PERM ROT-LIEGEND			
285	PALEOZOICUM	CARBOON	BOVEN-CARBOON		
			ONDER-CARBOON		
		DEVOON			
					SILUUR
		ORDOVICIUM			
		CAMBRIUM			
500		PRECAMBRIUM			

Tabel 1

chronometrisch onderzoek steeds worden verijnd, worden de grenzen van de verschillende tijdseenheden steeds nauwkeuriger gedefinieerd.

Het vijfrijken-systeem

Voor de indeling van de levensvormen op aarde heeft men het *vijfrijkensysteem* opgesteld. Vroeger bestond de systematiek uit twee rijken, namelijk het plantenrijk en het dierenrijk. Maar er waren nogal wat probleemgevallen, die in het vijfrijken-systeem beter tot hun recht komen.

De allereerste onderverdeling van de organismen is in **Prokarioten** en **Eukarioten**. De Prokarioten zijn eencelligen zonder kern. Eigenlijk is het beter om te zeggen, dat ze geen kernmembraan hebben, want kernmateriaal hebben ze wel, alleen ligt dat kriskras door de cel. Tot de Prokarioten

Pleistoceen (het tijdvak van de ijstijden), Holoceen (waarin wij nu leven).

De Tijdvakken zijn weer onderverdeeld in Tijden, bijvoorbeeld het tijdvak Lias (Vroeg-Jura) is onderverdeeld in de tijden Hettangien, Sinemurien, Pliensbachien en Toarcien. Bij de stratigrafie, ofwel de geologie "in 't vrije veld", zijn chronostratigrafische eenheden in gebruik. Onderscheiden worden o.a. Systemen, Series en Etages.

Door precieze definities van de Perioden, Tijdvakken en Tijden kan de geochronologische tijdschaal aan deze *chronostratigrafische* eenheden worden gekoppeld: Periode aan Systeem; Tijdvak aan Serie. De tijdseenheden en de in die tijdspanne afgezette lagen hebben zodoende dezelfde aanduiding. In het Tijdvak Mioceen werd de Mioceen Serie afgezet, b.v. de kleiige afzetting met zijn typerende molluskenfauna van Miste bij Winterswijk. De haaiantanden van Eocene ouderdom van Cadzand komen uit het Eoceen: de Eocene Serie voor de kust.

Meestal staan in de geologische tijdschaal ook nog absolute ouderdommen, verkregen uit de geochronometrie, vermeld. Deze variëren nogal per tabel.

Doordat de dateringen via stratigrafisch en

behoort het Rijk van de **Moneren**.

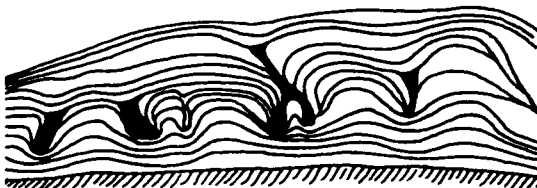
De overige organismen hebben wel een kernmembraan en worden **Eukaryoten** genoemd. Zij worden in vier Rijken verdeeld: de **Protista**, de **Planten**, de **Schimmels** en de **Dieren**.

Het Rijk van de Protista omvat de eencellige "planten" en "dieren". De Planten, Schimmels en Dieren zijn meercelligen.

1. Moneren

Onderaan de indeling van het leven staan de **Moneren**. Men denkt dat de Moneren 3,9 miljard jaar geleden of eerder ontstaan zijn. (Dit is per definitie de overgang van het Azoicum naar het Kryptozoicum.) De aarde is meer dan 4,5 miljard jaar oud. In het begin van het leven op aarde leefden de organismen van organische verbindingen die in de zeeën voorhanden waren. Binnen het Rijk van de Moneren ontstonden ongeveer 3,35 miljard jaar geleden de **cyanobacteriën**, ofwel blauwwieren, ofwel blauwgroene algen. Zij waren in het bezit van bladgroen en konden als eersten leven van anorganische (niet-organische) stoffen, door de koolzuurassimilatie.

Koolzuurassimilatie is het omzetten van water en kooldioxide in organische stoffen met behulp van zonlicht. Hierbij ontstaat zuurstof. Dit proces is alleen mogelijk via organismen die bladgroen bezitten. Voordat de cyanobacteriën met de zuurstofproductie begonnen kwam zuurstof alleen in verbindingen voor en niet vrij in de atmosfeer. Sindsdien is het O₂-percentage in de atmosfeer gaan stijgen tot de huidige 20%. De blauwgroene algen (nu dus cyanobacteriën genoemd) werden, vanwege het bezit van bladgroen, vroeger bij de Planten ingedeeld.



Afb. 2. Stromatoliet. Archaeicum - Recent. Breedte ongeveer 15 cm.

Deze cyanobacteriën komen fossiel in ruime mate voor, maar worden door amateurs niet altijd herkend en ten onrechte vaak ervaren als onbelangrijk. Sommigen ervan bonden sediment tot grote klonten of kussens, waarbij elke keer een laagje afgezet werd. Ook bacteriën speelden bij het ontstaan van deze klonten een rol. Deze bouwsels worden **stromatolieten** genoemd; zij ontstonden vooral in het Precambrium. Afb. 2.

Tot de Moneren behoren ook de bacteriën. Zij kunnen evenmin als dieren koolzuur assimileren en kunnen dus alleen van organische stoffen leven. Ook de virussen worden (als ze al tot de levende wezens worden gerekend) bij de Moneren ingedeeld.

2. Protista

Tussen 1,5 en 1,2 miljard jaar geleden ontstonden de eerste eencelligen met kernmembraan. Dit wordt gezien als een belangrijke stap in de evolutie.

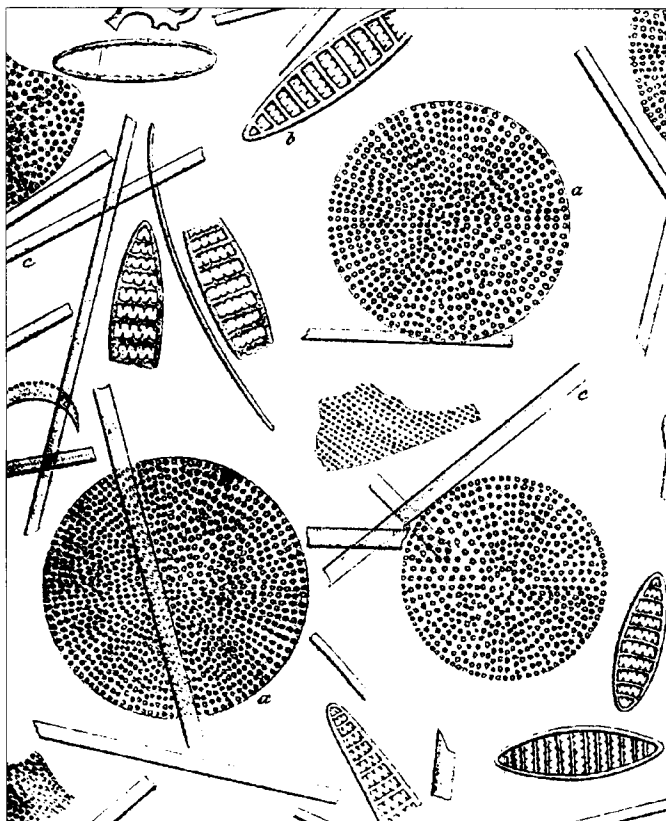
De Protista zijn hoofdzakelijk eencelligen of wezens die in een ontwikkelingsstadium naar meercelligheid zitten. De Protista worden in twee subrijken verdeeld, nl. de **Protophyta** (de eerste planten) en de **Protozoa** (de eerste dieren).

Onder de **Protophyta**, de "eerste planten", vallen:

Flagellaten = zweepwieren;

Dinoflagellaten = eencellige algen;

Diatomeeën = kiezelalgen.



Afb. 3. Diatomeeën, ca. 500 x, Recent.

Alleen de diatomeeën komen in ruime mate fossiel voor dankzij het kiezelzuur in hun skeletjes. Afb. 3. Er zijn enorme gesteente-pakketten mee opgebouwd. In diatomiet kunnen ook de resten van andere organismen gefossiliseerd voorkomen.

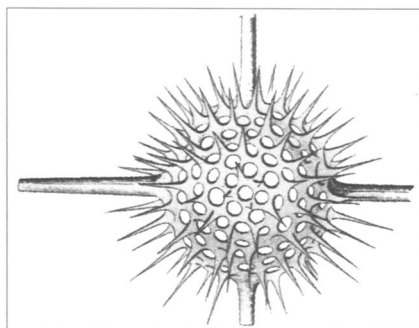
In het subrijk **Protozoa**, de "eerste dieren", horen onder andere de radiolariën en de foraminiferen. Vooral de laatste groep is onder fossielenzoekers bekend.

Radiolariën

De huidige radiolariën, ofwel straaldiertjes, leven in de oceaan, in het plankton. Ze komen zowel bij de evenaar als bij de polen voor. Ze hebben een skeletje van opaal, dat na gebruik naar beneden dwarrelt en voor afzettingen in de diepzee zorgt. De afzettingen verhardten tot radiolriet, dat in Nederland wel als zuidelijke zwerfsteen wordt gevonden.

De skeletjes zijn bol- of kegelvormig, maar vooral rotatie-symmetrisch. Er zitten grote uitsparingen in het skelet, waardoor pseudopodiën naar buiten steken. Hiermee vangt hij eencellige planten en bacteriën.

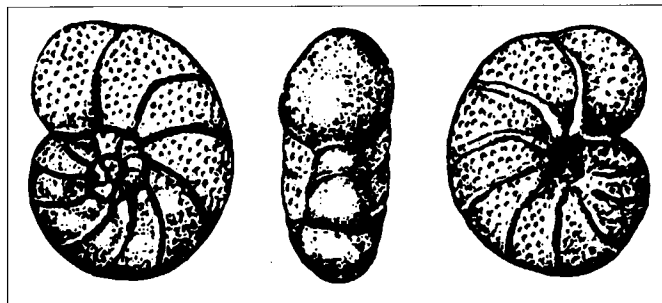
De voortplanting is ongeslachtelijk: gewoon een kwestie van delen. Een van de nieuwe cellen, een dochtercel, blijft in het oude skeletje achter. Het gebeurt ook wel, dat beide cellen een nieuw skeletje maken. Een individu blijft slechts één maand in leven. Radiolariën komen vanaf het Cambrium voor. Afb. 4.



Afb. 4. Radiolarie, 300 x, Recent.

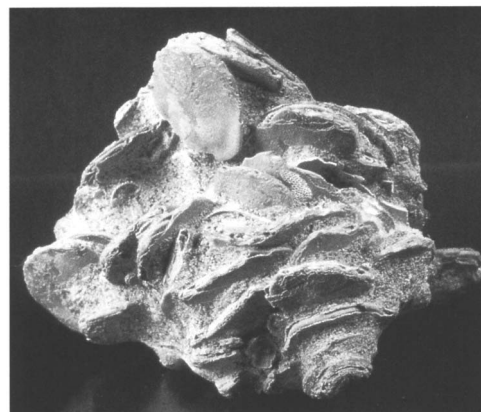
Foraminiferen

De foraminiferen ofwel gaatjesdragers (*foramen* = gat) maken een klein schelpje met kamertjes, tussenschotjes en aan de buitenkant ribbels en stekels, maar ook gaatjes (afb. 5). Ze bestaan slechts uit één cel en zijn over het algemeen microscopisch klein. Maar de macroscopische vormen kunnen toch redelijk groot worden. Afb. 6. Een soort, een *Nummulites*, werd zelfs 10 cm!



Afb. 5. De foraminifeer *Anomalinoidea granosa*; Eoceen; 30 – 60 x vergroot.

De cel van een foraminifeer is heel bijzondere, hij heeft meer dan één kern en cellichamen voor specifieke lichaamsfuncties. Door de gaatjes in de schelp steken pseudopoden naar buiten. Deze hebben verschillende taken, zoals het vangen en verteren van prooi; het naar buiten werken van afvalstoffen; ze helpen bij de bouw van de schaal; bodembewoners hechten zich ermee vast op de ondergrond; ze spelen een rol bij de voortbeweging. Die actieve voortbeweging stelt niet zo vreselijk veel voor: de topsnelheid is 12 cm/uur, maar gemiddeld halen ze zo'n 2,5 cm/dag.



Afb. 6.
Nummulieten
in gesteente.

Foraminiferen leven in zee. Sommigen maken deel uit van het plankton, anderen leven op de zeebodem. Ze eten plankton en eencellige algen. Bezitten ze grote gaatjes, dan vindt de verttering binnen het skelet plaats, anders erbuiten. De voortplanting geschiedt afwisselend geslachtelijk en ongeslachtelijk, met vele variaties op dit thema.

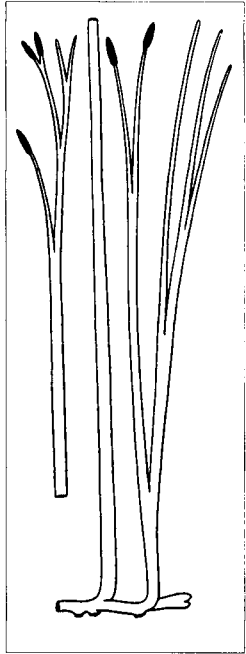
3. Het Plantenrijk

Algen

Meercellige algen zijn fossiel wat beter bekend, vooral voor degenen die zwerfsteenfossielen verzamelen. In Ordovicische kalkstenen van Zweedse herkomst komen wel fossiele algen voor, zoals *Palaeoporella* en de zogenaamde knikkeralgen. Deze meercellige algen of wieren ontstonden zo'n 700 miljoen jaar geleden in zee. Deze plantaardigen hangen als ze boven water gehaald worden slap, want ze bezitten zelf geen stevigheid.

Psilophyten, de eerste landplanten

In het Laat-Siluur ontstonden de eerste landplanten. Hun bouw was eenvoudig, want:
 ze hadden geen blad;
 hun stelen waren telkens in tweeën vertakt;
 ze bleven laag (ca. 20 cm);
 ze vormden geen zaad, maar sporen;
 ze bezaten geen echte wortel, maar een *rhizoom*.
 Maar ondanks hun eenvoud hadden ze toch al problemen opgelost. Tegen uitdroging hadden ze een beschermend huidje, de cuticula ontwikkeld. Omdat ze nu niet meer over hun hele



Afb. 7. *Rhynia mayor*, uit het Midden-Devoon van Schotland.

oppervlak water konden opnemen (ze stonden nu in de *droge* lucht in plaats van in het water), ontwikkelden ze een soort wortel, die niet alleen houvast bood, maar ook water opnam. Om dit water naar alle delen van de plant te kunnen transporteren ontwikkelden ze "vaten", vandaar de naam vaatplanten. Bovendien ontwikkelden ze stevigheid om boven water rechtop te kunnen staan.

De voortplanting ging door middel van sporen. De sporen zaten in doosjes aan het eind van de takken. De sporen verspreidden zich door de lucht en vormden op de nieuwe plaats van bestemming een *prothallium* (= *gametofyt*). Op het *prothallium* ontstonden geslachtscellen: veel kleine mannelijke cellen, die loslieten en naar de weinige, grote vrouwelijke cellen zwommen. Het *prothallium* ofwel de gametofyt moest dus op een vochtige plaats staan. Uit de bevruchte cel ontstond een nieuwe plant, een sporenplant oftewel *sporofyt* (op dezelfde plaats als het *prothallium*).

Cooksonia is de eerste fossiele landplant. Hij werd ongeveer 20 cm hoog. *Rhynia* is van iets latere datum (Devoon), maar is veel bekender. Hij is in Schotland gevonden, waar een hele vegetatie in een keer door een kiezelzuurrijke lava bedekt werd. Afb. 7.

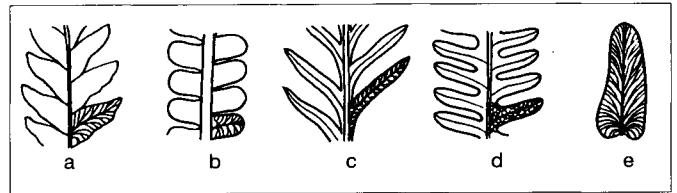
Mossen

Mossen zijn ontstaan in het Vroeg-Devoon. Ook mossen zijn sporenplanten. Alleen de gametofyt (het plantje dat de geslachtscellen maakt) is bij de mossen groter dan de sporofyt (het plantje dat de sporen maakt). Dit in tegenstelling tot alle andere sporenplanten. Mossen zijn eigenlijk primitiever dan de Psilophyten. Ze hebben namelijk geen vaten. Daarom worden mossen nooit groot en zullen ze altijd in een vochtige omgeving staan. Het is niet bekend of ze uit de Psilophyten ontstaan zijn, of rechtstreeks uit de groene algen. Fossiel zijn ze niet erg bekend.

Varens, paardestaarten en wolfsklauwen

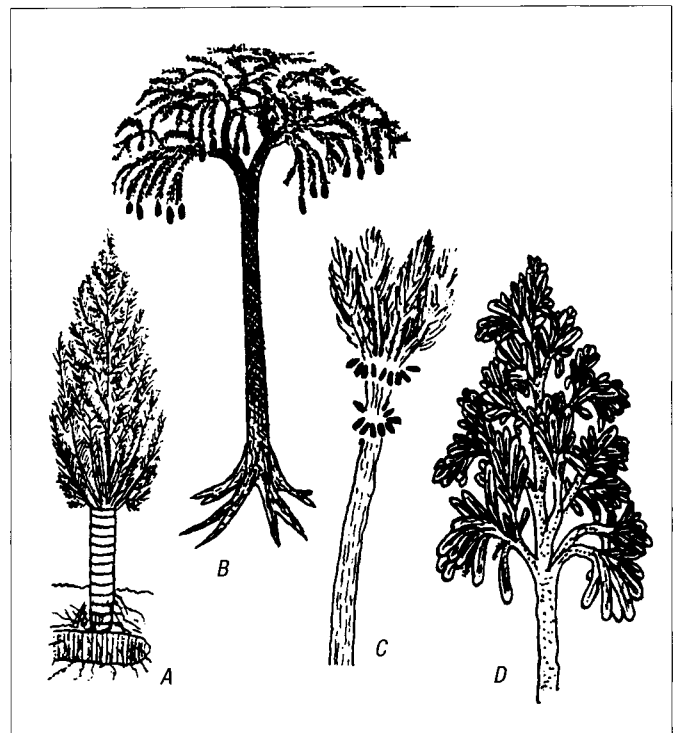
Iets later in het Vroeg-Devoon ontstonden de andere sporenplanten: de varens, de paardestaarten en de wolfsklauwen. In het Carboon kwamen ze pas goed tot ontwikkeling.

Kenmerkend voor **varens** zijn de opgerolde bladtopyn en de voortplanting door middel van sporen (soms worden sporendoosjes fossiel aangetroffen). Door een goed ontwikkeld vaat-

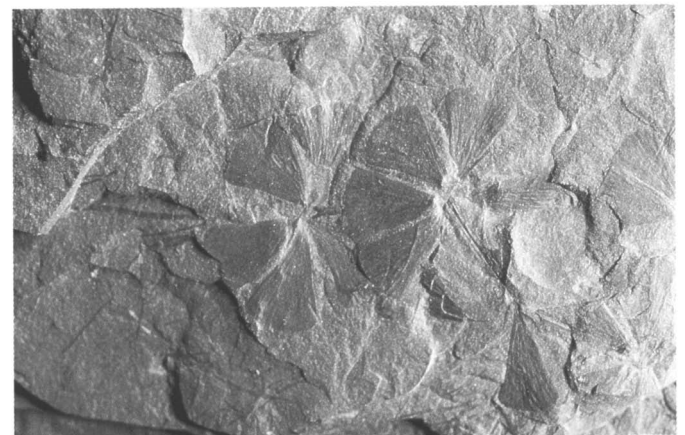


Afb. 8. Carboon-varens. a. *Mariopteris*; b. *Pecopteris*; c. *Alethopteris*; d. *Lonchopteris*; e. *Neuropteris*.

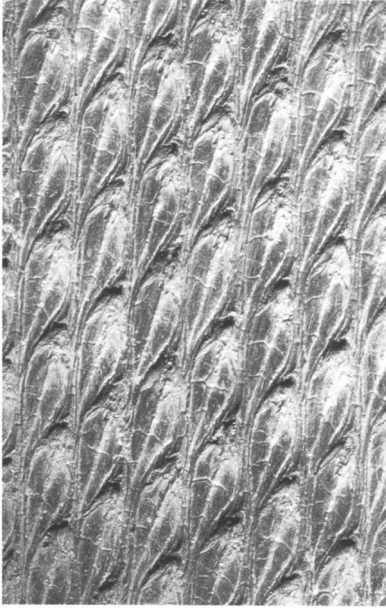
stelsel werd het ontstaan van boomvarens mogelijk. Vele soorten varens zijn goed bekend uit de steenkoollagen. Afb. 8. Kenmerkend voor de **paardestaarten** zijn de gelede steel of stam en de kransen van naald- of wigvormige bladeren. *Calamites* is een voorbeeld van een paardestaart uit het Carboon. Hij had goed ontwikkelde vaatbundels en kon wel zo'n 30 m hoog worden. Hij had een stam gevuld met merg en een in de lengte geribbelde oppervlak. (De lengtegroeven zijn de afdrucken van de vaatbundels.) Afb. 9 A. Andere voorbeelden van paardestaarten uit het Carboon zijn



Afb. 9. Enkele bomen uit het Carboon. A. *Calamites*, een paardestaartachtige; B. *Lepidodendron*, een wolfsklauwachtige; C. *Sigillaria*, ook een wolfsklauwachtige; D. *Cordaites*, een naaktzadige loofboom.



Afb. 10. *Sphenophyllum*, een paardestaartachtige uit het Carboon.



Afb. 11.
Lepidodendron, detail van de stam met bladlittekens.
Collectie Natuurhistorisch Museum West-Overijssel.

Asterophyllum (stervormige bladeren) en *Sphenophyllum* (met wigvormige bladeren). Afb. 10.

Een andere groep sporenplanten zijn de **wolfsklauwen**. Net als de tegenwoordige paardestaarten zijn de wolfsklauwen van nu kleine planten. In het Carboon echter groeide een aantal uit tot heuse bomen. *Lepidodendron*, ook wel schubboom genoemd, is daar een voorbeeld van. Afb. 9 B. De *Lepidodendron* heeft een ruitvormige tekening op de schors. Afb. 11. Deze ruitjes zijn bladlittekens. De kegelvormige voortplantingsorganen lieten ronde littekens achter. Deze voortplantingsorganen werden eerst apart gevonden en kregen toen de naam *Lepidostrobus*. Men had al een vermoeden dat ze bij *Lepidodendron* hoorden (vandaar dat de naam er al wat op leek), maar pas later werden ze aan een *Lepidodendron* gevonden. Met de *Stigmara* is ook zo iets aan de hand. *Stigmara* zijn wortels met gaatjes erin. Later werden ook deze in combinatie met *Lepidodendron* gevonden, maar ook in combinatie met *Sigillaria*, een andere boomvormige wolfsklauw en verwant aan *Lepidodendron*. Afb. 9 C. Deze en vele andere planten en ook insecten zijn bekend uit de steenkoollagen uit het Carboon. In verband met de economische betekenis van steenkool in vroeger jaren zijn deze planten en insecten uitvoerig bestudeerd.

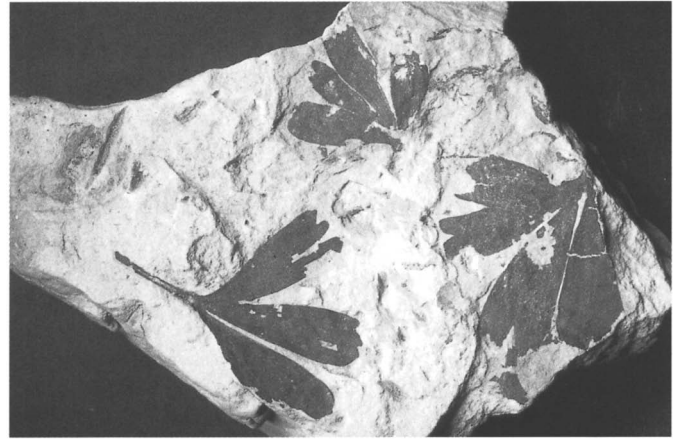
Het ontstaan van steenkool

Steenkool is ontstaan uit een moerasbos. Dit moerasbos werd overstroomd door de zee. Daarna werd er kalksteen of schalie afgezet. Kalksteen als er geen sediment werd aangevoerd en schalie als dit wel zo was. Als er een delta ontstond, werd er zand afgezet, dat door de wisselende stromingen kriskras-gelaagdheid vertoonde. Als het sediment weer boven water kwam, raakte de delta weer begroeid met een rijke vegetatie, met moerasbos. Dit resulteerde in een laag zand met wortels, en daarbovenop een laag ingekoolde plantenresten. Deze cyclus van overstroomd door de zee, ontstaan van een delta en het begroeiën met opnieuw moerasbos heeft zich enkele malen herhaald.

Zaadvarens

De zaadvarens zijn ontstaan in het Devoon en zijn daarmee de oudste zaadplanten. Pas in het Carboon komen ze veel voor. Zaadvarens zien er eigenlijk precies uit als echte varens. Pas als je aan een varen zaden in plaats van sporendoosjes ziet zitten, weet je dat je met een zaadvaren te maken hebt. Ofwel:

elke varen is een echte varen totdat het tegendeel bewezen is. De fossiele varens en zaadvarens zijn in families en geslachten ingedeeld op grond van de vorm van hun blad, dus niet op grond van echte verwantschap. Het wordt dan erg verwarrend, als aan een lid van een familie echte varens plotseling zaden gevonden worden. De soortnaam wordt dan niet veranderd. Ook fossiel hout wordt in zulke kunstmatige families ingedeeld. De namen die stukken fossiel hout krijgen, duiden op oppervlak-



Afb. 12. Fossiele bladeren van *Ginkgo* sp., een naaktzadige boom.

kige overeenkomsten en niet op echte verwantschap. Zo slaat de naam *Dadoxylon* op hout van zowel fossiele naaldbomen als van *Cordaites*, een fossiele naaktzadige loofboom. Afb. 9 D.

Naaktzadigen of Gymnospermen

De juist genoemde zaadvarens behoren tot de naaktzadigen. Deze hadden een geavanceerde methode van voortplanten ten opzichte van de sporenplanten. Er ontwikkelden zich grote en kleine sporen. De grote sporen blijven op de plant zitten, de kleine sporen, ofwel stuifmeelkorrels, worden door de lucht geblazen door de wind. Bij een grote spore aangekomen produceert de kleine spore een spermacel. De grote spore breekt open en de spermacel kan naar de eicel toe zwemmen. Het bevruchte eitje wordt een zaadje. Het beschermende omhulsel droogt op en wordt hard. Het zaadje is klaar om verspreid te worden. De naaktzadigen hebben dus geen vochtige omgeving voor hun gametofyt ofwel prothallium nodig. Ze scheppen zelf de vochtige omgeving binnen de grote spore. Zaadplanten zijn dus eigenlijk sporofyten, waarvan de gametofyt op/in de sporofyt groeit. Hierdoor zijn ze onafhankelijker van het klimaat geworden en kunnen ze beter tegen een droog klimaat dan de sporenplanten. In het Perm en de Trias was het klimaat droog, toen begon dan ook de bloeiperiode van de naaktzadigen. Tijdens de Jura duurde het hoogtepunt van de naaktzadigen nog voort. Veel informatie uit deze periode komt van de Deltaic Series uit de Midden-Jura van Engeland. Zelfs voor de amateur zijn hier aardige plantenresten te vinden.

In het Carboon ontstonden de coniferen en de *Cordaites* (een in het Perm uitgestorven groep loofbomen). Gedurende de Trias ontstonden de *Bennetitales*, de *Ginkgo*'s en de *Cycadeeën*. De *Bennetitales* zijn uitgestorven in het Laat-Krijt. Van de *Ginkgo*'s leeft nog één soort, de *Ginkgo biloba*. Afb. 12. Ook de *Cycadeeën* leven nu nog (o.a. in Nieuw-Zeeland).

Bedektzadigen of angiospermen

In het Vroeg-Krijt ontstonden de bloeiende planten, ofwel de bedektzadigen, ofwel de angiospermen. Het is niet bekend uit welke naaktzadigen ze ontstaan zijn. Vroeger dacht men dat de *Magnolia*'s de

primitiefste bloemen waren, maar daar wordt tegenwoordig aan getwijfeld. Kortom, over herkomst en ontstaan tast men in het duister. Alleen is bekend, dat de oudste tot nog toe gevonden bloem uit het Vroeg-Krijt stamt, maar wie weet waren er al veel eerder bloeiende planten.

Kenmerken van de bedektzadigen zijn de vrucht en de dubbele bevruchting:

1 pol bevrucht de eicel, wat resulteert in een embryo;

1 pol bevrucht 2 kernen nabij de eicel, wat resulteert in voedsel voor het embryo.

Voedsel en embryo samen vormen het zaad. Het zaad wordt niet alleen beschermd door een zaadmantel, maar ook door de vrucht. Afb. 13. De verspreiding van de zaden wordt verzorgd door de wind, het water of door dieren. De bevruchting geschiedt door de wind (grassen, granen en bomen met katjes), maar vooral ook door insecten. De ontwikkeling van de bloeiende planten heeft dan ook een hele ontwikkeling bij de insecten in gang gezet. Omgekeerd heeft de bloem ook een veelzijdige ontwikkeling meegemaakt. De bloeiende planten vormen vandaag de dag de grootste groep in de plantenwereld en ze bezitten een ongelooflijke variatie aan bloemen.



Afb. 13. Vruchtjes van *Wetherellia* sp., een bedektzadige plant (met bloemen dus) uit het Eoceen van Brackelsham, West-Sussex, GB.

Helaas zullen wij fossielzoekers ons in de regel al gelukkig moeten prijzen met fossiele boombladeren en wat fossiele vruchten, die nog moeilijk te conserveren zijn ook.

4. Schimmels

De schimmels doen plantaardig aan, maar missen het bladgroen en zijn dus afhankelijk van de aanwezigheid van organische stof. Daarom zitten ze in een apart Rijk. Ze komen overigens nauwelijks fossiel voor, dus slaan we ze verder over.

De volgende keer behandelen we het vijfde en fossiel belangrijkste Rijk: het **Dierenrijk**.

Literatuur

- Buissonjé, P.H. de (1993) Paleontologie van de ongewervelden; themanummer *Gea* 26, nr. 1, p. 1-48.
 Fortuin, A. en Baumfalk, Y. (1981) Foraminiferen; themanummer *Gea* 14, nr. 3, p. 77-117.
 Kraaijenhagen, F.C. (1992) Geologie in telegramstijl; NGV.
 Vlasveld, W.P.N. & Vlasveld-Pijman, A.F. (1997) Fossiele algen, stromatolieten en wat daarmee samenhangt, deel I; *Gea* (1997) 30, nr. 2, p. 88 en 89.
 Idem, deel II: *Gea* (1998) 31, nr. 2, p. 122-130.
 Schaarschmidt, F. (1968) Paläobotanik I en II; Bibliographisches Institut Mannheim.
 Thomas, B.: De evolutie van planten en bloemen; Lannoo, Tielt, België.

Foto's: G. Beersma.

Aardas veranderde plotseling van stand in het Laat-Krijt

De positie van de geografische noord- en zuidpool is niet stabiel. Dat blijkt uit een onderzoek naar de poolposities in het Laat-Krijt. Het gaat daarbij niet om relatieve verplaatsing van de polen (ten opzichte van de continenten, als gevolg van continentverschuiving), maar om een ontwikkeling die alleen kan worden verklaard door een verandering van de positie van de aardas ten opzichte van het materiaal in de aardmantel.

De onderzoekers kwamen tot die bevinding toen ze de schijnbare beweging van de geografische polen (d.w.z. de verandering van de posities van de continenten t.o.v. de polen) gedurende het Krijt en Tertiair opnieuw analyseerden. Ze deden dat door de positie van de polen te bepalen ten opzichte van de zogeheten Pacificische schol, een van de grootste aardschollen. Op die schol bevinden zich een aantal onderzeese vulkanische bergen (zogeheten *seamounts*), die zich door de aard van hun vulkanische gesteenten goed laten gebruiken voor enerzijds de positiebepaling t.o.v. de toenmalige aardmagnetische polen, anderzijds om het desbetreffende tijdstip radiometrisch vast te leggen (op basis van de verhouding tussen twee argon-isotopen). Voor hun onderzoek analyseerden William Sager en Anthony Koppers de gesteenten van 27 van dergelijke *seamounts*.

Ze vonden daarbij dat de schol tussen 120 en 90 miljoen jaar geleden nauwelijks van zijn (relatieve) plaats kwam, maar dat hij van 79 tot 39 miljoen jaar geleden naar het noorden bewoog. Dat gebeurde omstreeks 84 miljoen jaar geleden zo snel, dat die beweging ten opzichte van de polen niet uitsluitend met continentverschuiving kan worden verklaard: de positie veranderde binnen 2-5 miljoen jaar in een schijnbare poolverandering van 16-21°, wat overeenkomt met 3-10° per miljoen jaar. Dit is tot ruim tienmaal zo snel als de maximaal bekende snelheid van continentverschuiving. De onderzoekers komen dan ook tot de conclusie dat de aardkorst in zijn geheel een snelle beweging moet hebben gemaakt t.o.v. de aardmantel, zodat het leek of de polen zeer snel t.o.v. het aardoppervlak (en dus ook t.o.v. de Pacificische schol) bewogen.

De conclusie is dat binnen de aardmantel plotseling grote verstoringen moeten zijn opgetreden in het patroon van de convectiestromen. Daarvoor zijn overigens ook andere geologische aanwijzingen, zoals een sterk verhoogde tektonische en vulkanische activiteit omstreeks 84 miljoen jaar geleden, alsmede het begin van tal van onderlinge bewegingen van de diverse aardschollen. De vraag rijst natuurlijk waarom er zo'n dramatische verandering binnen de aardmantel heeft plaatsgevonden. Als hypothese wordt gesteld dat mogelijkwerwijze een groot brok relatief koude oceaانبodem, dat door subductie aan de rand van een lithosfeerschol tot ca. 700 km diepte was 'weggedoken', toen door de grens tussen de buiten- en de binnenmantel doordrong, waardoor de massaverdeling van de aarde - die van groot belang is voor de positie van de polen - plotseling veranderde.

Kerr, R.A., 2000. Did the dinosaurs live on a topsy-turvy earth? *Science* 287, p. 407-407.

Sager, W.W. & Koppers, A.A.P., 2000. Late Cretaceous polar wander of the Pacific plate: evidence of a rapid true polar wander event. *Science* 287, p. 455-459.

A.J. van Loon