

Nederland door de geologische tijd

600 miljoen jaar verandering van plaats en klimaat

door Prof. dr. J. de Jager
jan.dejager@hotmail.com

Nederland heeft een fascinerende geologische reis gemaakt over de aardbol. Aan het begin van het Paleozoïcum, zo'n 600 miljoen jaar geleden, lag Nederland dicht bij de Zuidpool. Van daaruit is Nederland over de evenaar naar het noorden gereisd (afb. 1 A t/m F). Als gevolg van die reis, dwars door alle klimaatzones heen, is het klimaat van het stukje van de aardkorst waar Nederland ligt voortdurend veranderd. Bovendien is de gemiddelde temperatuur op aarde niet altijd geweest zoals nu. Op dit moment in de geologische tijd bevinden we ons in een interglaciaal van een zogenaamde *icehouse*-periode: een periode waarin ijstijden voorkomen. Zelfs tijdens de interglaciale periodes van zo'n *icehouse*-wereld zijn de polen nog steeds met ijs bedekt. Gedurende het Carboon en het late Ordovicium tot vroege Siluur kende de wereld ook *icehouse*-condities.

Veel vaker was de aarde echter aanmerkelijk warmer dan nu, met broeikas (*greenhouse*)-condities. In de afgelopen 500 miljoen jaar varieerde de gemiddelde temperatuur op aarde tussen 12 graden Celsius gedurende *icehouse*-condities en meer dan 20 graden Celsius gedurende broeikascondities (afb. 2, tweede kolom). Op dit ogenblik ligt de gemiddelde temperatuur op aarde tussen 14 en 15 graden Celsius, vrij koud dus. Gedurende de *icehouse*-periodes is het gemiddelde zeeniveau laag omdat er veel water in de vorm van sneeuw en ijs op de polen ligt. In afb. 2 (derde kolom) zijn de wisselingen van het zeeniveau weergegeven. Gedurende de langer durende *greenhouse* periodes was het gemiddelde zeeniveau tot wel 200 meter hoger dan tegenwoordig en werden grote delen van de continenten door water bedekt. Ook de CO₂-concentratie in de atmosfeer is altijd aan verandering onderhevig geweest. In de vierde kolom (afb. 2) is af te lezen dat de CO₂-concentratie meestal aanmerkelijk hoger lag dan nu, met uitzondering van het Carboon tot het Perm. Toen lag de CO₂-concentratie op het huidige niveau.

Gedurende de reis over de aardbol van de Nederlandse ondergrond veranderden de onderlinge posities van de continenten opzichte van elkaar. Grote continentale platen - de 'supercontinenten' - vielen uiteen in kleinere continentale platen die miljoenen jaren later weer tegen elkaar opbotsten. Dit ging gepaard met enorme geologische krachten. Bij het uiteen breken ontstonden er grote breuken en diepe bekkens die gevuld werden met sedimenten. Toen de continenten tegen elkaar botsten, ontstonden er onder invloed van compressie plooigebergtes.

Veel kennis over de Nederlandse ondergrond

De gesteenten in de ondergrond van Nederland zijn afgezet onder deze steeds wisselende klimatologische en geologische omstandigheden en als zodanig reflecteren ze de reis van Nederland over de globe. We kennen de gesteenten in de ondergrond van Nederland vrij goed. Dat is voornamelijk te danken aan de vele boringen naar olie en gas. Er zijn data beschikbaar van meer dan 2500 olie- en gasboringen, waarvan de meeste tot dieptes van meer dan 2500 meter. Bovendien is meer dan de helft van Nederland bedekt met een dicht netwerk van 3D-seismiek, met op elke 25 meter een datapunt. De ondergrond van Nederland is kortom uitzonderlijk goed in beeld gebracht. Misschien heeft Nederland wel de best in beeld gebrachte ondergrond van alle landen op de wereld.

Van aardlagen onder Nederland uit het vroege Paleozoïcum weten we weinig omdat er weinig directe gegevens zijn en onze kennis hierover incompleet is. Onze ideeën over deze periode zijn gebaseerd op regionaal geologische overwegingen en modellen die gesteund worden door gegevens en aanwijzingen elders uit Europa.

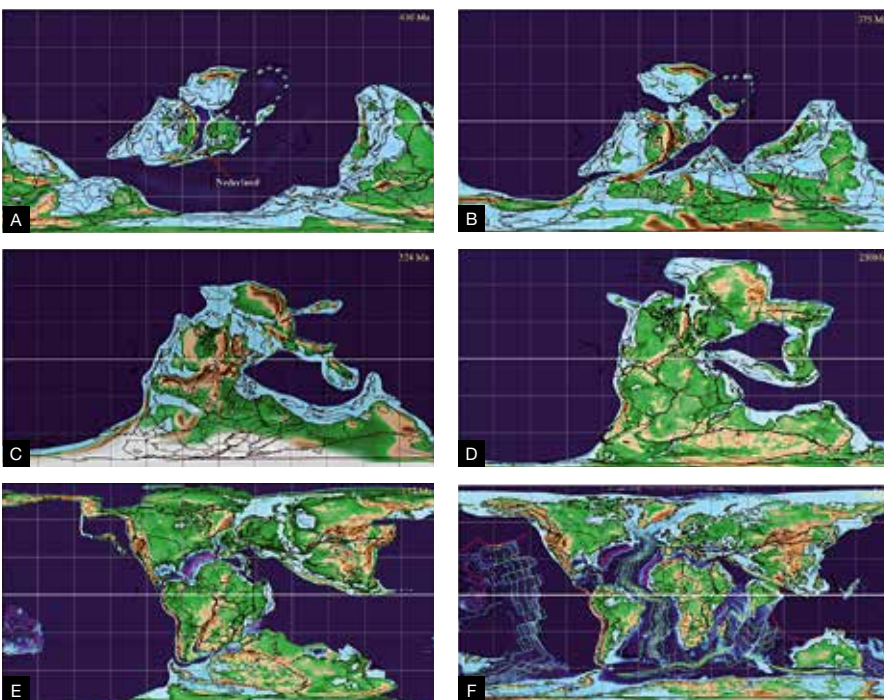
Tijdens het begin van het Paleozoïcum, zo'n 600 miljoen jaar geleden, waren alle continenten verenigd tot één groot supercontinent op het zuidelijk halfrond: Gondwana. Gedurende het vroege Paleozoïcum viel Gondwana uiteen in kleinere continentale platen en fragmenten die aan het eind van het Paleozoïcum (zo'n 300 miljoen jaar geleden) weer één voor één samenkwamen en zo het supercontinent Pangea vormden.

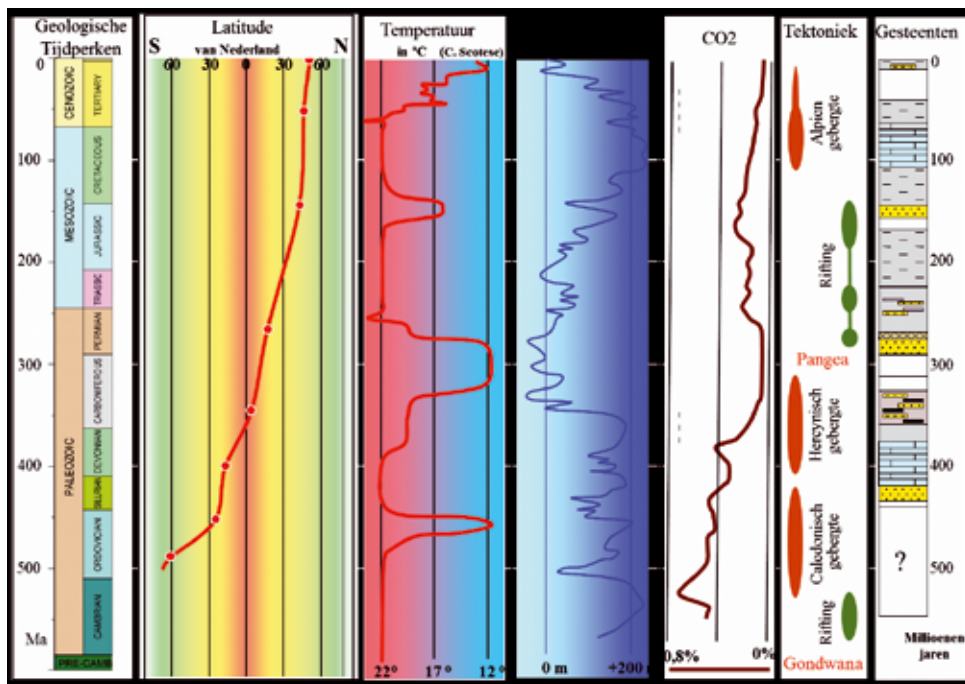
Het Siluur: de oudste gesteenten onder Nederland

De oudste gesteenten die zijn aangetroffen in de ondergrond van Nederland dateren uit het Siluur. Het is fijnkorrelige zandsteen en kleisteen dat is afgezet in de diepzee; waarschijnlijk zijn het turbidietzanden. Ik begin daarom het verhaal van de geologische geschiedenis van Nederland in het Siluur.

Afb. 1 A t/m F. Plaatreconstructies van het Siluur (430 Ma), Devoon (375 Ma), Carboon (325 Ma), Perm (250 Ma), Laat-Jura tot Vroeg-Krijt (137 Ma) en Eoceen (49 Ma).

De positie van Nederland is steeds aangegeven met een rode stip. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.





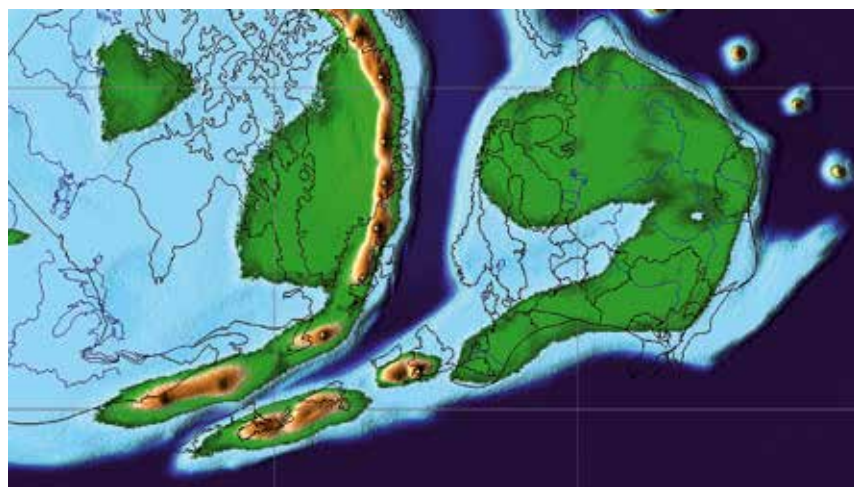
Afb. 2. Kolommen met daarin respectievelijk aangegeven: de positie van de ligging van Nederland op de globe in breedtegraden; globale temperatuurvariatie (volgens Scotese); zeeniveau (volgens Exxon); gemiddelde atmosferische CO₂-concentratie; gebergtevorming en de stratigrafische kolom.



Afb. 4. Het Caledonisch gebergte, dat werd gevormd door de botsing van de continenten Baltica en Avalonia met Laurentia, moet een kaal en snel eroderend gebergte zijn geweest.

Het supercontinent Gondwana was toen al uiteengevallen in grotere en kleinere continentale platen en fragmenten. Veel van die platen lagen nog dicht bij de Zuidpool. Nederland was deel van het kleine continentale fragment Avalonia dat, nadat het was losgebroken van Gondwana, snel naar het noorden bewoog. Daar kwam het samen met de grotere continentale plaat Baltica (het huidige Noord-Europa). Tijdens het Siluur stond dit geheel op het punt te versmelten met Laurentia (het huidige Noord-Amerika plus Groenland) tot het grote Laurussia-continent (afb. 3).

De compressie die gepaard ging met de botsing van Baltica met Laurentia leidde tot de vorming van het Caledonische gebergte. Dit moet een zeer kaal gebergte geweest zijn, want tijdens het Siluur leefden er op land nog geen planten en bomen; praktisch al het leven op aarde speelde zich toen af in zee. Zonder beschermende plant- en boomwortels zal het gebergte snel zijn geërodeerd. De erosieproducten (zand en klei) werden afgezet in de dalende bekkens aan de voet van het gebergte (afb. 4). De dikke roodkleurige zandsteenpakketten van de zogenaamde 'Old Red'-sequenties in het Verenigd Koninkrijk zijn hier een voorbeeld van.



Afb. 3. (Uitvergroting 1A). Tijdens het Siluur (circa 430 miljoen jaar geleden) lag Nederland op de kleine Avalonia-plaat, die was samengesmolten met Baltica, en die op het punt stond te botsen met Laurentia om zo de grote Laurussische plaat te vormen. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.

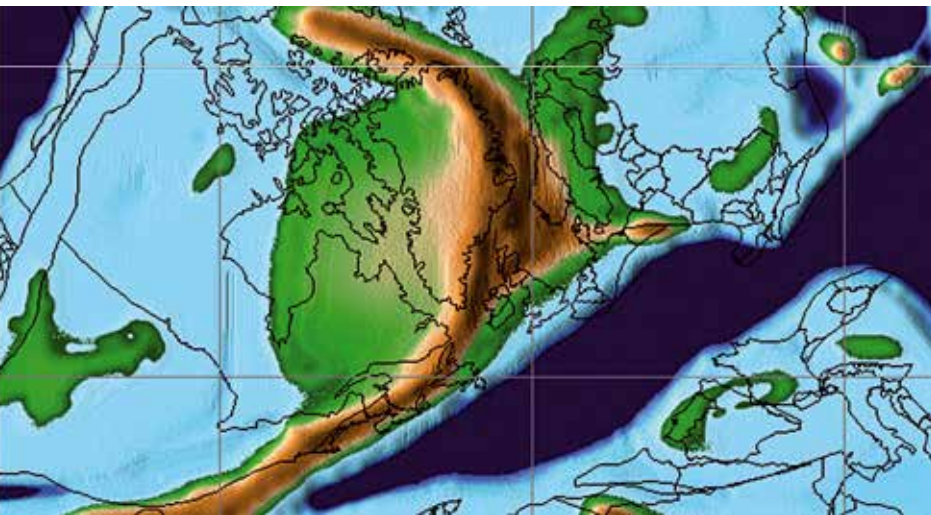
Devoon tot het Vroeg-Carboon: koraalriffen

Nadat Baltica en Laurentia waren samengekomen, bevond Nederland zich in de tropische zone op zo'n 20 graden zuiderbreedte, aan de zuidkant van het grote continent Laurussia (afb. 5). Onder de warme greenhouse-condities was het zeeniveau hoog en lag Nederland onder water. In de Ardennen komen gesteenten die in het Devoon zijn afgezet aan het oppervlak. Ze bestaan uit kalksteen vol met koraalresten. Uitgestrekte koraalbanken en riffen moeten zich toen hebben gevormd aan de tropische zuidrand van het grote Laurussia. Dergelijke riffen komen ook voor in de ondergrond van Nederland. Het bewijs hiervoor kwam in 1997 toen er bij een diepe boring door de Nederlandse Aardolie Maatschappij een dik pakket kalksteen werd aangetroffen onder het grote Groningen-gasveld: de resten van een enorm koraalrif.

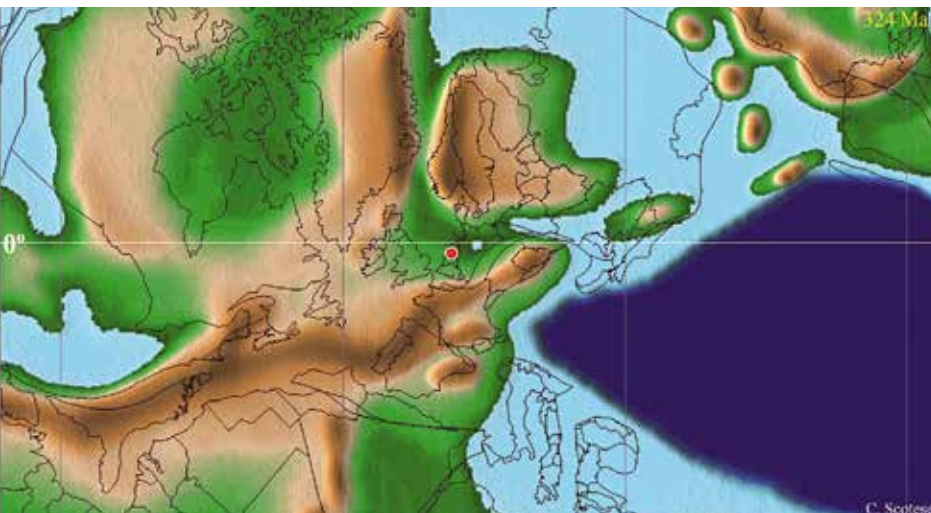
Gedurende het Devoon en Carboon bewogen de nog overgebleven delen van Gondwana in de richting van Laurussia en werd de oceaan tussen beide continenten steeds smaller, totdat de twee continenten botsten en de Paleo-Tethys Oceaan zich sloot.

Midden tot Laat-Carboon: tropische wouden

De botsing van Gondwana met Laurussia betekende dat alle continentale platen opnieuw waren samengekomen in één supercontinent: Pangea. Nederland bevond zich niet meer aan de zuidelijke rand van een continent maar er midden op, ver van de oceanen (afb. 6). Bovendien had de compressie die gepaard ging met de botsing van Laurussia met Gondwana een fase van gebergtevorming tot gevolg: de Hercynische orogenese (ook wel Variscische of Varistische orogenese genoemd). De centrale as van dit gebergte lag ten zuiden van ons en liep van Noord-Frankrijk en België door naar Duitsland.



Afb. 5. (Uitvergroting 1B). Devoon tot Vroeg-Carboon (circa 375 miljoen jaar geleden). Baltica en Laurentia vormen samen Laurussia, en Gondwana en Laurussia beginnen te versmelten tot Pangea. Nederland lag op de zuidelijke rand van de grote Laurussische plaat, op ongeveer 20 graden zuiderbreedte. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.



Afb. 6. (Uitvergroting 1C). Laat-Carboon (circa 324 miljoen jaar geleden). Toen Pangea eenmaal was gevormd, lag Nederland op de evenaar in een tropisch klimaat, ver van de oceaan, ten noorden van het Hercynisch (of Variscisch) gebergte. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.



Afb. 7. Gedurende het Laat-Carboon werden sedimenten afkomstig van het Hercynische gebergte afgezet in een groot en snel dalend "foreland"-bekken, waarbij sedimentatie en bekkendaling elkaar in balans hielden. Het landschap in Nederland was een moerasoerwoud met weelderige tropische planten- en bomengroei.

Nederland bevond zich grotendeels in het gebied waar de erosieproducten van dit gebergte werden afgezet. Er groeiden geen kalkkriffen meer, maar er werden zanden en kleien afgezet. Het gewicht van al die erosieproducten droeg ertoe bij dat de bodem snel daalde. Echter, door de grote aanvoer van erosiemateriaal werd het zich vormende bekken "tot de rand" toe gevuld. Kilometers dikke pakketten van zanden en kleien werden er afgezet gedurende het Laat-Carboon. Omdat het land inmiddels was gekoloniseerd door planten en bomen en Nederland op de hoogte van de evenaar was aangekomen, ontwikkelden zich in het gebied van Nederland uitgestrekte tropische moerassen met een weelderige vegetatie (afb. 7). De steenkool die tot de jaren '60 van de vorige eeuw werd gemijnd in Zuid-Limburg zijn de resten van deze tropische wouden.

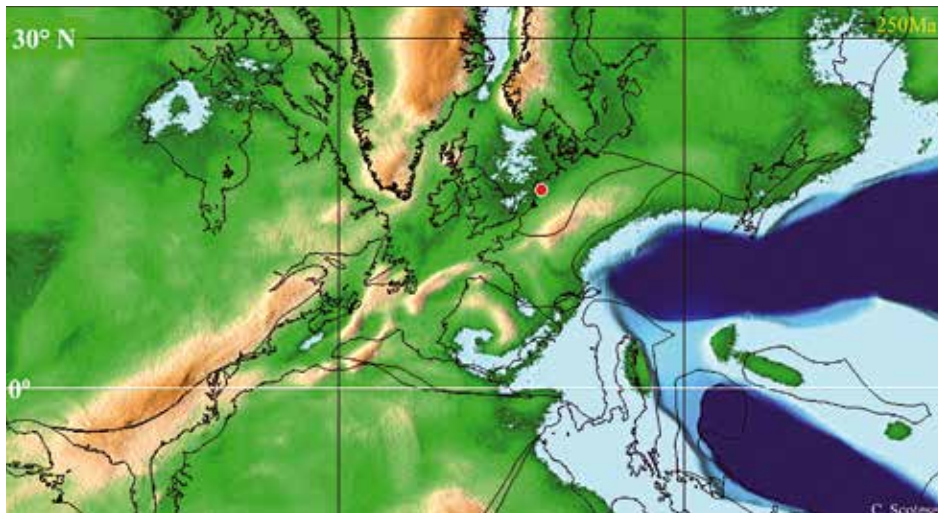
Perm: de bron van zout en gas

Ook nadat Pangea zich had gevormd, bleven de continenten zich als één geheel naar het noorden bewegen. Nederland kwam terecht in de droge aride zone van de aarde: tussen 20 en 30 graden ten noorden van de evenaar (afb. 8). Ook vandaag de dag is dat de zone waar we de grote woestijnen van de aarde vinden. Nederland ging van een vochtig tropisch klimaat naar een droog woestijnklimaat. Uitgestrekte zandvlaktes met duinen vormden zich.

In zuidelijke richting ging het duinlandschap over in een terrein met iets meer reliëf, waar zogenaamde *braided rivers* (een riviertype met veel dynamische stroomkanalen en tijdelijke eilandjes, red.) stroomden. Nog verder naar het zuiden lag een laag gebergte: de al flink geërodeerde resten van het Hercynische gebergte. In noordelijke richting ging de zandwoestijn over in een uitgestrekt zoutmeer (afb. 9). Door een voortdurende bodemdaling en een sterk gereduceerde aanvoer van sedimenten kwamen grote delen van de huidige Noordzee en noordelijk Nederland geleidelijk onder zeeniveau te liggen. Omdat de oceanen ver weg waren, kon deze situatie enige tijd voortduren; er was geen makkelijke verbinding waardoor zeewater het dalende bekken kon vullen. Pas tegen het eind van het Perm liep het bekken enkele malen vol met zeewater. Door een gebrekkige verbinding

met open zeeën en door een sterke verdamping in het droge woestijnklimaat dampte de zee telkens weer in, waarbij elke keer een zoutlaag achterbleef. Uiteindelijk resulteerde dit in een dik zoutpakket. In het centrum van het bekken, de huidige Noordzee, werd wel een kilometer dik zoutpakket afgezet. De zuidrand van dit zoutbekken liep precies over centraal Nederland. In de noordelijke helft van Nederland vinden we het zout (het zgn. Zechsteinzout) bovenop de iets oudere duinzanden (de zgn. Slochteren-zandsteen).

Samengevat: nadat er zich gedurende het Devoon tot Vroeg-Carboon een tropische koraalzee had ontwikkeld, veranderde het Nederlandse landschap gedurende het Laat-Carboon in een equatoriaal tropisch oerwoud met moerassen. In het Vroeg- tot Midden-Perm werd Nederland gedomineerd door een grote zandwoestijn; uiteindelijk, gedurende het Laat-Perm, ontstond een uitgestrekt regelmatig indampend zoutmeer. Het is deze opeenvolging van respectievelijk tropisch oerwoud, woestijn en zoutmeer waar Nederland zijn grote gasvelden aan dankt. Het gas is ontstaan uit de koollagen van het Carboon (de resten van tropische oerwouden) en is gemigreerd naar het reservoirge-



Afb. 8. (Uitvergroting 1D). Laat-Perm (circa 250 miljoen jaar geleden). Ver van de oceanen, tussen 15 en 20 graden noorderbreedte, was Nederland blootgesteld aan een zeer heet en droog landklimaat. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.

Trias: een nieuw begin

De overgang van Perm naar Trias ging gepaard met extreem hoge gemiddelde temperaturen op aarde. Het was misschien wel de belangrijkste periode van extinctions op aarde ooit: er stierven toen meer diersoorten uit dan wanneer dan ook. Met Nederland gelegen in de aride zone op zo'n 30 graden noorderbreedte, was het hier extreem warm en droog. Het landschap gedurende het Trias moet vergelijkbaar

geweest zijn met dat van Centraal-Australië nu (afb. 10). Het bestond uit uitgestrekte kale vlaktes met nauwelijks enige hoogteverschillen en hier en daar een migrerend duinenveld dat weinig meer achterliet dan een enkele dunne zandlaag van hoogstens enkele meters dik. Schaarse maar heftige regenbuien vulden eens in de paar jaar de droge rivierbeddingen en het water stroomde naar de laagst gelegen gebieden waar zich kortstondig meren vormden die snel droogvielen, waarbij een dun laagje zout of anhydriet werd afgezet.

De eerste aanwijzingen dat Pangea begon op te breken deden zich voor gedurende het Trias. Het begon tussen Scandinavië en Groenland, waar zich als gevolg van de extensie van de aardkorst diepe riftbekkens (graben) vormden (afb. 11). Als een zich openende ritssluiting vormden soortgelijke riftbekkens zich verder zuidwaarts. Ook in het gebied van de zuidelijke Noordzee werden de effecten van extensie in de aardkorst merkbaar.

In Nederland werden nog geen echt diepe riftbekkens gevormd, maar enige breukactiviteit was er wel. Dit had twee belangrijke gevolgen. Via de riftbekkens kon zeewater het gebied van de zuidelijke Noordzee en Nederland bereiken. Het afzettingsmilieu veranderde van continentaal naar marien. Het tweede effect was dat boven de actieve breuken het Zechsteinzout begon te vervormen. Zout in de ondergrond heeft de eigenschap dat het lichter is dan de bovenliggende gesteenten: een labiele situatie. Bovendien kan zout onder druk in de ondergrond gaan vloeien. Door de breukactiviteiten ontstonden hierdoor lange zoutmuren en -diapiren, precies boven de breuken waarlangs pas veel later (gedurende het eind van de Jura) echt grote breukbewegingen zouden gaan plaatsvinden. Dit zijn de breuken die de belangrijke riftbekkens uit de late Jura en het vroege Krijt begrenzen.

Jura: continental break-up

Voordat de riftbekkens in de ondergrond van Nederland werden gevormd, was er eerst nog een tektonisch zeer rustige periode in de vroege en Midden-Jura. Nederland was verder naar het noorden bewogen en bevond zich in de subtropische klimaatzone; het was bedekt door een continentale zee van op zijn hoogst enkele honderden meters diep. In die zee werd bij geleidelijke bodemdaling een dik kleipakket van wel anderhalve kilometer dik afgezet. Op een gegeven moment, tegen het eind van de vroege Jura, waren de omstandigheden zo dat er relatief veel organisch materiaal werd afgezet. Dit resulteerde in de Posidonia Schalie: een laag van zo'n 35 meter dik en het oliemoe-dergesteente (*source rock*) voor de Nederlandse olievelden.

Gedurende de late Jura begon Noord-Amerika van de kop van



Afb. 9A. Uitgestrekte duinenvelden lieten tijdens het Perm in Nederland en de zuidelijke Noordzee een zandlaag van wel 200 meter dik achter.
Afb. 9B. Naar het noorden toe ging het duinlandschap over in een groot zoutmeer.



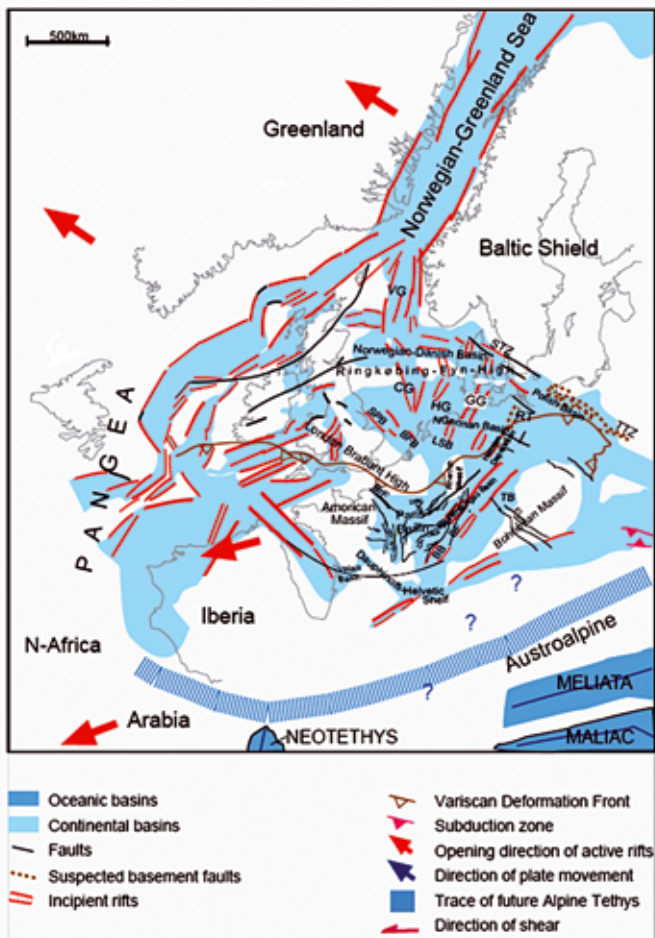
steente van het Perm (dat als duinzanden werd afgezet). Hier is het afgedekt door de ondoorlaatbare laag van het Zechsteinzout.

Mesozoïcum: het opbreken van Pangea

Gedurende het Mesozoïcum brak het supercontinent Pangea geleidelijk op in de continenten zoals we die nu kennen. Dit ging gepaard met extensie (rek) in de aardkorst en de vorming van grote breuken en diepe bekkens (riftbekkens), zoals het Noordzeebekken. Hier en daar kon magma langs de breukvlakken naar de oppervlakte stromen, met vulkanisme tot gevolg.



Afb. 10. Het Trias-landschap bestond uit hete, droge vlaktes, zoals we die nu van Centraal-Australië kennen.



Afb. 11. Extensie in de aardkorst, die later zou leiden tot het opbreken van Pangea, begon gedurende het Trias tussen Groenland en Scandinavië en beïnvloedde later het gebied rond de Noordzee. Deze rek veroorzaakte breuken en daarmee de vorming van riftbekkens (slenken of grabens).

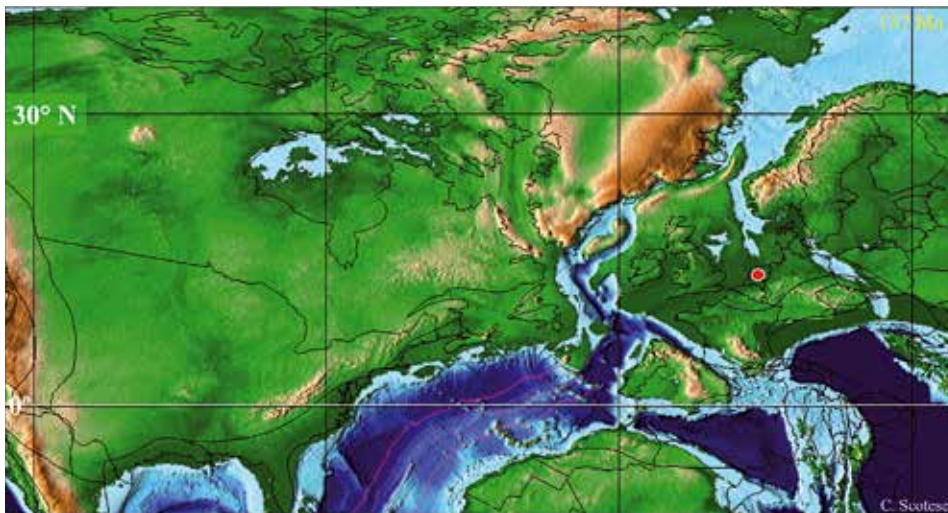
extensie in de aardkorst (afb. 12). Gedurende de late Jura en het vroege Krijt kregen snel dalende riftbekkens in de ondergrond van Nederland vorm. De belangrijkste zijn de Dutch Central Graben (afb. 13), het Broad Fourteens Basin en het West-Netherlands Basin. Deze door grote breuken begrensde riftbekkens werden gevuld met dikke pakketten klei en zandsteen: de erosieproducten van de platformgebieden buiten die riftbekkens die juist omhoogkwamen. In de Dutch Central Graben heerste een voornamelijk marien afzettingsmilieu, met soms diepwatercondities; in het West Netherlands Basin was het afzettingsmilieu voornamelijk continentaal, met fluviatiele sedimenten.

Een bijzondere ontwikkeling deed zich voor ter hoogte van de huidige Waddenzee, waar een grote vulkaan ontstond: de Zuidwal-vulkaan. Een boring naar aardgas trof meer dan een kilometer basalt aan. Waarschijnlijk was deze boring precies in de aanvoerpijp van de grotendeels geërodeerde vulkaan geplaatst. Een grote magnetische anomalie geeft aan dat er een belangrijke massa van magnetisch materiaal (basalt) in de grond aanwezig is (afb. 14).

Krijt: reactivering van oude breuken

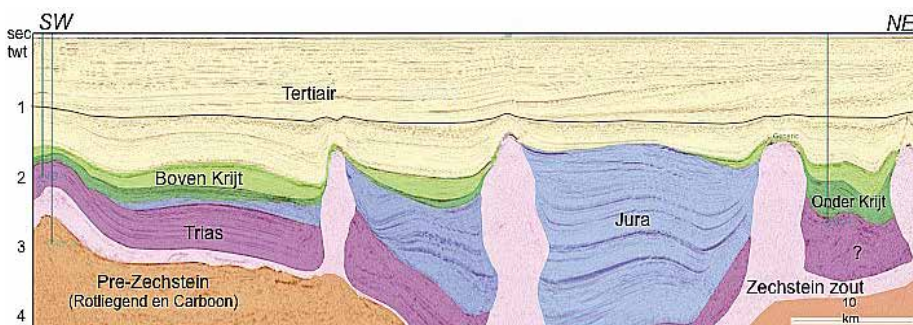
In het vroege Krijt kwam een eind aan de extensie in de continentale korst toen ten westen van Groot-Brittannië en Ierland het Amerikaanse continent van Europa afbrak. De breukactiviteit stopte en het Noordzeegebied, inclusief Nederland, begon geleidelijk te dalen. Niet alleen de riftbekkens maar ook de daarnaast gelegen platformgebieden, die aanvankelijk nog boven zeeniveau uitstaken, werden door een langzaam uitbreidende zee bedekt. Aan de randen van dit brede bekken werden nog kustnabije zanden afgezet, erosieproducten van de landmassa's

Afrika weg te drijven met de vorming van nieuwe oceanische korst bij de Mid-Atlantische Rug. Verder naar het noorden kwam het nog niet tot een echte *continental break-up*, maar er was wel een sterk verhoogde tektonische activiteit onder invloed van de

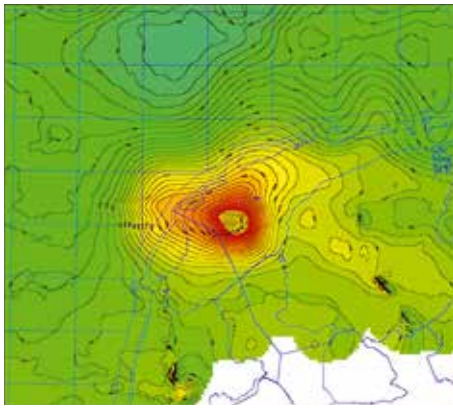


rondom deze zee. In Nederland vinden we deze zanden in het zuiden van Zuid-Holland, waar ze het reservoir zijn van enkele belangrijke olievelden (bijv. de Rotterdam en IJsselmonde-Ridderkerk olievelden). Verder naar het centrum van het bekken werden

Afb. 12. (vergroting van 1E) Laat-Jura – Vroeg-Krijt: circa 137 miljoen jaar geleden. Gedurende de Midden-Jura begon Pangea op te breken. De Centrale Atlantische Oceaan, tussen Afrika en Noord-Amerika, was nog smal. Er was sterke extensie van de korst tussen Groenland en Europa (rifting). Extensie van de korst veroorzaakte de failed ('mislukte') Noordzee Sea rift en verder naar het zuiden de Nederlandse riftbekkens. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.



Afb. 13. Opvallend zijn de zeer dikke Jura-afzettingen in de Dutch Central Graben. Op de aangrenzende platformen is de Jura bijna geheel afwezig. De Onder-Jura is geërodeerd door opheffing van de platformen en de Midden- tot Boven-Jura ontbreekt.



Afb. 14. Tijdens het tektonisch zeer actieve Laat-Jura tot Vroeg-Krijt bestond het landschap uit baaien waar dikke pakketten sedimenten werden afgezet, gescheiden door eroderende landtongen. In wat nu de Waddenzee is ontstond er een vulkaan: de Zuidwal-vulkaan. Een boring precies in de magmapijp van de vulkaan heeft een kilometer dik pakket basalt aangetroffen. Een regionale magnetische kaart laat zien dat er een groot magnetisch lichaam (basalt) in de ondergrond is. Bron: NAM.

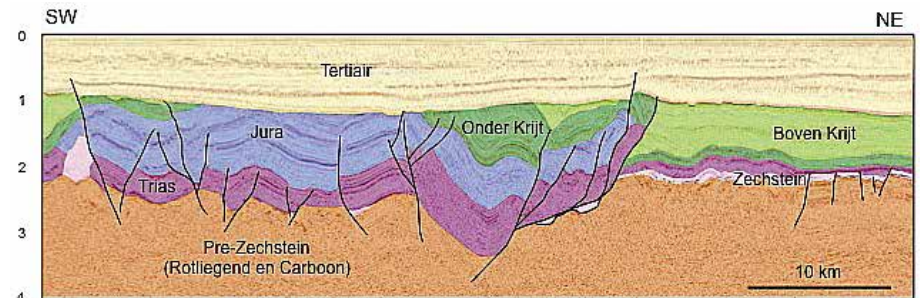
voornamelijk kleien afgezet.

Gedurende het Late Krijt (100 tot 60 miljoen jaar geleden) had deze Krijtzee zijn grootste uitbreiding en een groot deel van Europa lag toen onder water. Het wereldwijde klimaat was warm onder sterke broeikascondities en in de zee leefden ontelbare minuscule planktonorganismen. Als het plankton stierf zank het naar de zeebodem waar kleine ronde kalkplaatjes (coccolieten) uit de cel zich opstapelden tot een dik kalksteenpakket van lokaal meer dan een kilometer dik! De beroemde krijtrotzen van Dover, maar ook de mergel van Zuid-Limburg, bestaan grotendeels uit deze microscopisch kleine planktonskeletjes. Ook de Mosasaurus leefde in deze Krijtzee.

Tegen het eind van het Krijt botsten Afrika en Italië tegen het Europese continent, waarbij het plooigebergte van de Alpen werd gevormd. De compressie die gepaard ging met deze botsing deed zich ook veel verder naar het noorden gelden, in het bijzonder daar waar al diepe breuken voorkwamen: in de eerder gevormde riftbekkens. Deze oudere breuken werden gereactiveerd en de sedimenten van de riftbekkens werden omhoog geduwd. Dit proces wordt *structurele inversie* genoemd.

Tertiair: de vorming van de Alpen

Al gedurende het late Krijt begon Italië (met Afrika) tegen Europa te botsten. Deze botsing zou uiteindelijk tot het plooigebergte van de Alpen leiden. Maar reeds gedurende het Late Krijt manifesteerde zich de eerste compressie. Niet alleen in Zuid-Europa, waar de twee continenten botsten, maar ook verder naar het noorden, waar de aardkorst iets was verzwakt doordat er riftbekkens waren ontstaan met breuken dwars door de aardkorst heen. De voormalige riftbekkens werden geleidelijk omhoog geduwd. Dit culmineerde gedurende de overgang van het Krijt naar het Trias, zo'n 60 miljoen jaar geleden. Op seismische profielen is mooi te zien hoe de jongere sedimenten in de



Afb. 15. De Nederlandse riftbekkens hebben in het late Krijt tot vroege Tertiair een fase van structurele inversie doorgemaakt. Door de botsing van Italië en Afrika tegen Europa werden de riftbekkens van Nederland opgeheven. Goed te zien is hoe de Onder-Krijtsedimenten van het Broad Fourteens Bekken opgeheven zijn en nu minder diep liggen dan jongere sedimenten (Boven-Krijt) van net buiten het riftbekken.

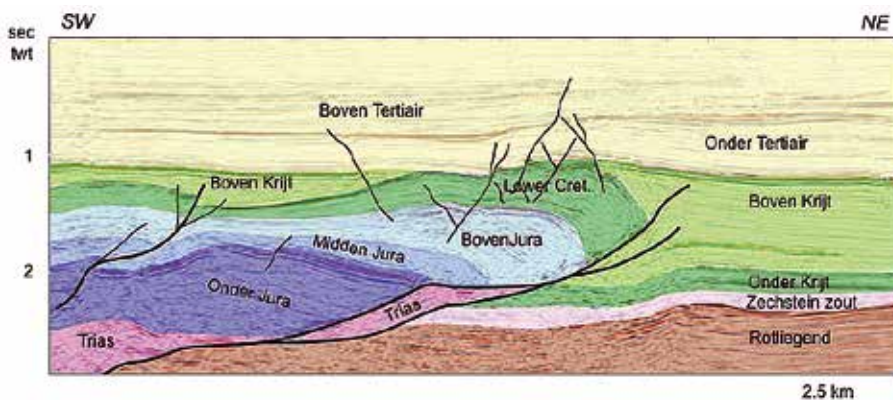
riftbekkens opgeheven zijn tot hoger dan oudere sedimenten van de platformgebieden (afb. 15). Aan de rand van het Broad Fourteens Bekken leidde de compressie tot een indrukwekkende overschuiving van de riftsedimenten over het aangrenzende platform heen (afb. 16).

Het vroege Tertiair was weer een periode van bijzonder hoge temperaturen op aarde, vooral rond de overgang van het Paleoceen naar het Eoceen. Het was toen zo warm dat er in Groenland, Zuid-Alaska en Patagonië palmbomen groeiden. Van de Canadese Arctische eilanden zijn fossiele krokodillen en schildpadden bekend. Door het ontbreken van ijskappen op de polen was het zeeniveau hoog en lag Nederland onder water (afb. 17). In het late Tertiair ontstond er een grote rivier, de Eridanos, die vanuit het Baltische gebied een delta in de Noordzee uitbouwde. Hierdoor werd de Noordzee steeds ondieper totdat er een brede kustvlakte ontstond met meanderende rivieren. De IJstijden, met gletsjers die dwars over deze rivier heen walsten, maakten een eind aan het bestaan van de Eridanos.

Holoceen: delta van Rijn en Maas

Sinds de IJstijden ligt een groot deel van Nederland in de delta van de Rijn en Maas. Een zeer dynamisch landschap waar normaalgesproken rivieren hun loop voortdurend verleggen en waar zo nu en dan het land wordt overstroomd, waarbij er telkens laagjes slib worden afgezet. De prachtige kaarten in het boek *Atlas van het Holoceen* (2011) laten zien hoe het landschap in Nederland in de laatste 10.000 jaar voortdurend is veranderd. Wij betoegelen die dynamiek van de natuur met dijken en dammen. Maar op de lange (geologische) termijn kunnen we dit niet blijven doen.

Afb. 16. Deze seismische tijdssectie op (ongeveer) 1:1 schaal toont de indrukwekkende overschuiving die veroorzaakt is door de inversie tijdens het late Krijt van het Broad Fourteens Bekken, waarbij het Zechsteinzout als een smeerlaag is gebruikt. De dikke Jura- en Onder-Krijt-sedimentpakketten van het Broad Fourteens Bekken zijn onder invloed van compressie in de aardkorst over de platformsedimenten heen geschoven.



Afb. 17. (Vergroting van 1F). Tijdens het Vroeg-Tertiair (circa 49 miljoen jaar geleden) begint de wereld een bekend aangezicht te krijgen. Het klimaat was veel warmer dan tegenwoordig. Krokodillen zwommen dicht bij de Noordpool en palmen groeiden in Zuid-Alaska, op Groenland en in Patagonië. Het zeeniveau was hoog en Nederland was bedekt door een ondiepe zee. Uit: Scotese, C.R., 2007. PALEOMAP PaleoAtlas for ArcGIS, PALEOMAP Project, Arlington, TX.



De bodem in het westelijk deel van Nederland daalt al miljoenen jaren en zal dit voorlopig blijven doen. Bovendien stijgt het gemiddelde zeeniveau nog steeds sinds de laatste IJstijd. Omdat wij met onze dijken voorkomen dat er nieuwe sedimenten worden afgezet op het land, worden de bodemdaling en zeeniveaustijging niet meer gecompenseerd door nieuwe sedimenten: onze delta bouwt niet meer op!

De toekomst: de delta groeit door

Al 600 miljoen jaar lang beweegt Nederland naar het noorden. Dit zal naar alle waarschijnlijkheid voorlopig zo doorgaan. Over enkele tientallen miljoenen jaren zal Nederland dus dichterbij de Noordpool liggen. Dat wil niet zeggen dat het veel kouder zal zijn dan nu. Momenteel bevinden we ons in een *icehouse*-periode. Veel vaker waren er op aarde broeikascondities zodat de kans dat op aarde over enkele tientallen miljoenen jaren broeikascondities heersen dus groter zal zijn. Afrika zal tegen Europa blijven aandrukken zodat de Alpen blijven groeien tot een gebergte met een hoogte vergelijkbaar met de huidige Himalaya. Erosiemateriaal zal door de Rijn naar de Noordzee worden afgevoerd. De geologische daling van de bodem in Nederland zal doorgaan en het huidige oppervlak, waar wij nu leven en waar we onze steden en wegen bouwen, zal door een honderden meters dikke laag deltasedimenten worden bedekt. Onze dijken en dammen zullen de natuurlijke ontwikkelingen (daling en sedimentatie) niet bij kunnen houden.

Epiloog

Het bedrieglijk vlakke oppervlak van Nederland verbergt een zeer interessante en verrassend veelzijdige geologie. Honderden miljoenen jaren geologische geschiedenis valt af te lezen aan de gesteenten en structuren in onze ondergrond. Er zijn fases van gebergtevorming geweest, fases van bekkenvorming, diepe zeeën, hete woestijnen, zoutmeren, koraalriffen, tropische moerassen, vulkanen, enzovoorts. De geologische geschiedenis van Nederland is er één van voortdurende verandering: tempe-

ratuurschommeling, klimaatverandering, zeeniveauwisseling, bodemdaling en een steeds veranderende CO₂-concentratie. Het zijn zonder uitzondering onderwerpen waar de laatste jaren veel over te doen is. Vanuit een geologisch perspectief is er niets nieuws onder de zon. Geologen weten dat het enige wat nooit zal veranderen de voortdurend veranderende geologische omstandigheden zijn.

Dankwoord

Om de leesbaarheid van het verhaal niet te veel te beïnvloeden heb ik in de tekst niet naar andere publicaties gerefereerd. Maar het zal duidelijk zijn dat deze samenvatting van de geologische geschiedenis van Nederland is gebaseerd op het werk van generaties van geologen. Ik ben veel dank verschuldigd aan mijn collega's bij de NAM, waar ik van 1990 tot 1995 en van 1998 tot 2003 met veel plezier heb gewerkt en waar ik veel heb geleerd. Veel van wat er in dit artikel staat beschreven is gebaseerd op contributies van mijn collega's van toen. In het bijzonder dank ik Mark Geluk (enkele van de afbeeldingen zijn van Mark) en Cees van Oosterhout (die de fraaie plaatreconstructies voor me heeft verzorgd). Ten slotte dank ik Chris Scotese die zo vriendelijk is geweest toestemming te geven de plaatreconstructies, die onder zijn copyright zijn gemaakt, voor dit artikel te gebruiken.

Literatuur

Geology of the Netherlands (2007). Th.E. Wong (red.); Atlas van Nederland in het Holoceen (2001). P.C. Vos (red.); Geologieboek Nederland (2006). W. de Gans. Uitg. ANWB en TNO.