

Gavdos, een opgeheven en gekanteld blok Egeïsche korst

door Annemieke van Roekel

redactie.vanroekel@gea-geologie.nl



▲ Het jongste deel van de Metochia Sectie in het noorden van Gavdos, met Kreta aan de horizon.

Voor zowel rustzoekers, strandgangers, archeologen als geologen is het meest zuidelijke eiland van het Europese continent een goede bestemming. Nog net zichtbaar vanaf het zuiden van Kreta, ligt hier het kleine Gavdos in de Libische Zee. Onder de Romeinse naam Claudia komt het al in de Bijbel voor. Hier is onder invloed van Egeïsche tektoniek een oude zeebodem boven water verschenen die geologen een ongestoorde inkijk biedt in astronomische cycli ten tijde van het Laat-Mioceen.

Gavdos is een klein en vrij onbekend eiland ten zuidwesten van Kreta. Op heldere dagen zijn de hoge bergen aan weerszijden van de bekende Samaria-kloof op Kreta goed te zien. Het eiland is vooral in trek bij reizigers die vrij willen kamperen onder en tussen de jeneverbesbomen en tamarisken op de noordelijke stranden. De laatste decennia is een handjevol appartementen gebouwd, zodat degenen die niet onder de open sterrenhemel willen bivakkeren ook aan hun trekken komen. De toeristendrukke beperkt zich tot de zomermaanden; van oktober tot mei is er weinig te doen en heerst er een overweldigende rust. Zo'n veertig mensen wonen er jaarrond.

Venetiaans plaveisel

Met een oppervlakte van ca. 30 km², de bijna 'hoorbare' stilte, de vrijwel overal zichtbare Middellandse Zee, bomen in de meest grillige vormen en de mogelijkheid wandelend vrijwel overal te kunnen komen, is het voor sommigen een aantrekkelijke reisbestemming. Sinds enkele jaren zijn de wandelpaden goed gemarkeerd, waarvan de meeste erg oud moeten zijn. Zo bestaat het adembenemende pad tussen het centraal gelegen dorpje Kastri en Ambelos, in het westen, deels uit een eeuwenoud plaveisel van lokale Pindos-kalksteen (afb. 1), waarover later meer.

"Dit plaveisel gaat mogelijk terug tot de Venetiaanse periode", vertelt Katerina Kopaka, archeologieprofessor aan de Universiteit van Kreta in Heraklion. Sinds de vroege



▲ Afb. 1. Oud pad tussen Kastri en Ambelos, met kalksteen plaveisel en 'brugconstructie' uit de Venetiaanse periode (13^e-17^e eeuw).

jaren '90 is Kopaka vrijwel iedere zomer voor de begeleiding van studenten op Gavdos te vinden. "Nadat we jaren bezig zijn geweest om de archeologie van het hele eiland systematisch in kaart te brengen, zijn we nu ten noordoosten van Kastri bezig met opgravingen op een terrein waar ooit een groot agrarisch wooncomplex stond. Dit



▲ Afb. 2. Geplooide Pindos-gesteenten aan de zuidkust.

dateert van vóór het midden van het tweede millennium v. Chr.; 5000 jaar v. Chr. werd Gavdos al bewoond. De geschiedenis van dit eiland gaat echter nog veel verder terug, tot het Paleolithicum.”

Het werk van Kopaka heeft laten zien dat hier, op het zuidelijkste puntje van het Europese continent, vele generaties en duizenden mensen geleefd moeten hebben. De door korstmossen overgroeide en vervallen terrasmuurtjes suggereren dat hier ooit sprake moet zijn geweest van een ‘intensieve’ landbouwcultuur.

Beschutting achter de steile zuidkust

Op historische kaarten komen we het eiland, onder de naam Claudia, in uiteenlopende vormen tegen. In de Bijbel (Handelingen 27) wordt van Gavdos melding gemaakt. De apostel Paulus ging er voor anker met zijn schip om te ontkomen aan de beruchte winterstorm *Eurakylon*, toen hij, tijdens zijn reis naar Rome, de oude havenstad Phoenix op ZW-Kreta niet meer kon bereiken. Fik Meijer, emeritus hoogleraar Oude Geschiedenis aan de Universiteit van Amsterdam, schrijft hierover in zijn boek over de reizen van Paulus: *‘De schipper was er ondanks de storm toch in geslaagd tijdelijk de beschutting van een hoge kust op*

te zoeken. In de handschriften wordt dit eilandje C(l)auda of en K(l)auda genoemd. Het heeft een meer dan driehonderd meter hoog oprijzende zuidkust die naar het noorden schuin afloopt. Een geschikte plaats om tijdelijk enige beschutting te vinden tegen de harde noordenwind.’ (Meijer, 2012).

Horstblok

Gavdos is een horstblok van sterk verdunde Egeïsche korst, niet ver van de huidige plaatgrens. Ook Kreta en de bodem van de meer dan een kilometer diepe zee die de eilanden scheidt, bestaan uit horsten en slenken. Als gevolg van voortgaande subductie is het gebied nog steeds seismisch actief.

“Het Gavdos-blok is niet alleen opgeheven maar ook noordwaarts gekanteld, en dat is goed te zien aan de vorm van het eilandje, met een steile zuid- en lage noordkust”, aldus Jan Willem Zachariasse, geoloog van de Universiteit van Utrecht (zie de kadertekst ‘Gavdos in geologisch perspectief’ op deze pagina, voor een uitgebreide beschrijving van dit proces). Aan de zuidkust zijn ook de oudste gesteentes ontsloten: geplooid kalken behorende bij het Pindos-dekblad (afb. 2).

Gavdos in geologisch perspectief

“Geologisch gezien vormt Gavdos een geheel met Kreta”, legt Jan Willem Zachariasse, geoloog aan de Universiteit van Utrecht, uit. Al een halve eeuw is Zachariasse zeer regelmatig op Kreta, en soms ook op Gavdos te vinden. Momenteel legt de gepensioneerde maar nog dagelijks actieve geoloog de laatste hand aan zijn opus magnum, een onderzoeksproject naar de vroege bekkenontwikkeling op Kreta. Zachariasse licht de geologie van Gavdos hier toe:

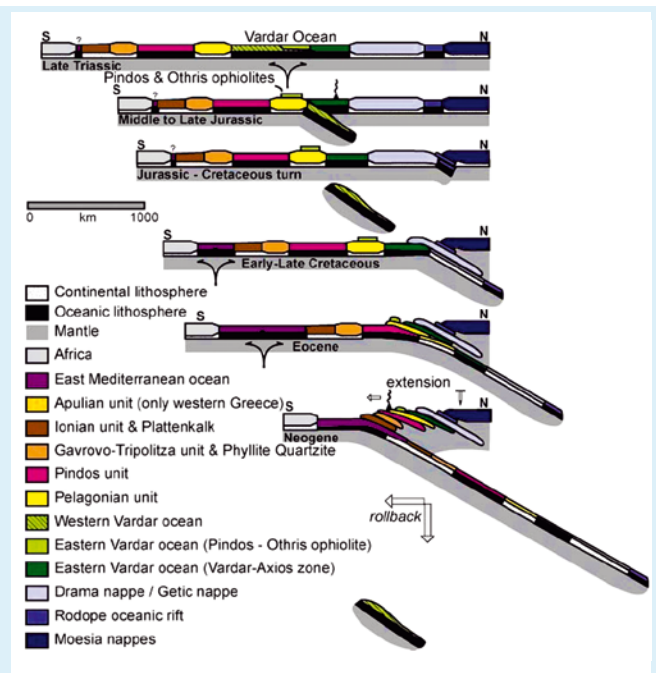
“Gavdos ligt even ten noorden van de plaatgrens, waar nu meer dan 200 miljoen jaar oude oceaankorst van de oostelijke Middellandse Zee (de oudste ter wereld) met een snelheid van enkele centimeters per jaar onder de Egeïsche korst van het Euraziatische continent verdwijnt.

Eerder verdween hier een heel continent, door Douwe van Hinsbergen (2019) Groot-Adrië genoemd (afb. A). Hiervan afgeschraapte sedimenten liggen nu als dekbladen op Kreta en Gavdos.

De Paleozoïsche tot Oligocene gesteentes van het onderste dekblad zijn afkomstig van het zuidelijkste gedeelte van Groot-Adrië en alleen op Kreta ontsloten. Ze zijn laaggradig metamorf met daarin lokaal nog mooi bewaarde trilobieten. Het bovenste dekblad bestaat uit een melange van metamorfe en niet-metamorfe gesteentes afkomstig van het meest noordelijke gedeelte van Groot-Adrië en een uitloper van de Neotethys Oceaan ten noorden daarvan.

Vanaf 100 miljoen jaar geleden schoof Groot-Adrië met de noordelijke Neotethys-uitloper onder het Euraziatische continent. Het meest zuidelijke deel van Groot-Adrië verdween ca. 20 miljoen jaar geleden onder Gavdos.

Er worden vijf dekbladen onderscheiden op Kreta, waarvan op Gavdos slechts de twee bovenste te zien zijn. Het onderste van dit tweetal wordt het Pindos-dekblad genoemd en bestaat op Gavdos uit Boven-Krijt kalken en Paleogene flysch, afgezet in



▲ Afb. A. Schematisch overzicht van de ontwikkeling van dekbladen tijdens de Alpiene orogenese in Griekenland. Groot-Adrië is hier alles tussen de kleuren groen en paars. Figuur 2 uit Van Hinsbergen, 2005. Gepubliceerd met toestemming van de uitgever.

een diep marien bekken op het Groot-Adrië-continent (afb 4 en 5). Gesteentes van het bovenste dekblad zijn ontsloten bij de haven in het noordoosten van het eiland. Ze zijn afkomstig uit de Neotethys Oceaan en bestaan uit Boven-Jura metamorfe basalten en gneis (oceaankorst) en pelagische (niet metamorfe) sedimenten uit het Laat-Krijt.

De steile zuidkust van Pindos-kalken vormt nu de zuidgrens van het ‘Gavdos-blok’, dat pas in het Pleistoceen is opgeheven en noordwaarts is gekanteld. Ook Kreta is een Pleistoceen eiland: het is twee miljoen jaar geleden boven water komen.

De dekbladstapel van Kreta en Gavdos heeft tot ca. elf miljoen jaar geleden onder compressie gestaan, maar dan neemt een noord-zuid gerichte rek het over en ontstaan sedimentaire bekkens. De oudste bekkens op Kreta zijn gevuld met rivierafzettingen, maar op Gavdos vormt zich een 700 m diep marien bekken, waarin kleien en zanden worden afgezet. Zo'n 500.000 jaar later wordt het bekken, en dus de zeebodem van Gavdos, weer 700 m opgeheven, om 500.000 jaar later weer opnieuw te zakken naar een diepte van 1200 m. Deze enorme verticale bewegingen van in totaal 2,6 km in één miljoen jaar valt af te leiden uit de op het eiland ontsloten kalkbodems en oesterbanken, met diep-mariene sedimenten erboven en eronder.

Dergelijke snelle tektonische bewegingen zijn typisch voor de processen direct ten noorden van de Egeïsche plaatgrens. Ook de tot 3000 m hoge bergmassieven op Kreta zijn jong en snel omhoog gekomen, zoals te zien is aan de enorme hoeveelheid puinhellingen en de vele diepe kloven, zoals de bekende Samaria-kloof in de Lefká Ori (lett.: Witte Bergen) van West-Kreta. Onlangs vond ik op 800 m hoogte in de Lefká Ori sedimenten die vier miljoen geleden in een meer dan 700 m diep marien bekken zijn afgezet! Dit gedeelte van de 'Witte Bergen' is dus sinds vier miljoen geleden (en waarschijnlijk korter geleden) met een minimale snelheid van 1 mm per drie jaar omhoog gekomen."



▲ Afb. 3. Geologische kaart van Gavdos. Afb. door J.S. Heutink. Naar Antonarakou (2004).

Boren door zoutlagen

Het is de periode vanaf tien miljoen jaar geleden die geologen op dit eiland het meest fascineert, om precies te zijn de periode tussen 9,8 en 5,9 miljoen jaar geleden. In het noorden van Gavdos ligt een unieke opeenvolging van sedimenten uit dat tijdsinterval (zie de openingsfoto).

“Op Gavdos vinden we de langste ongestoorde sectie van diepzee-sedimenten uit het Laat-Mioceen, dat wil zeggen het Tortonian en Messinian”, aldus Frits Hilgen, evenals Zachariasse werkzaam aan de Universiteit Utrecht. “Op Sicilië hebben we een vergelijkbare sectie gevonden, maar daarin zit een hiaat en ontbreekt ongeveer 250.000 jaar van de geologische tijd.”

De Utrechts onderzoekers kregen het idee dat in dit deel van de oostelijke Middellandse Zee een bijzondere serie cyclisch gelaagde sedimenten aanwezig was op basis van de kartering van de (destijds) Utrechtse student Henko de Stigter (De Stigter, 1989). Hilgen: “Omdat er in dit deel van de Middellandse Zee door de dikke zoutlagen in de zeebodem maar beperkt geboord kon worden, waren we afhankelijk van een landlocatie om dit tijdsinterval te bestuderen. De kans op een *blow-out* is bij boringen door zoutlagen in de zeebodem namelijk aanwezig, omdat zich onder de voor gas ondoordringbare evaporieten gassen kunnen ophopen. Voor industriële doelen wordt er wel geboord, maar dat gebeurt dan óf met hele kostbare voorzieningen óf heel snel, zodat er dan geen tijd is om boormonsters te nemen.”



▲ Afb. 4 en 5. In het landschap treffen we een aantal mooie ontsluitingen aan van het Pindos-gesteente, zoals de geplooid pelagische kalken in een vallei nabij de kust in het zuidoosten (afb. 4, boven) en naast de kerk in het dorpje Ambelos (afb. 5, onder).

Cyclisch patroon

Maar wat maakt deze zogeheten Metochia Sectie (genoemd naar een verdwenen gehucht in de nabije omgeving) dan zo uniek? Hilgen: “Klimaatsschommelingen zijn hier in een ononderbroken reeks sedimenten vastgelegd. Deze sectie heeft het voor ons mogelijk gemaakt om de bestaande klassieke geologische tijdschaal voor dit tijdsinterval flink te verbeteren. Hier waren de gegevens beschikbaar om de tijdschaal voor het Laat-Mioceen met astronomische cycli in absolute zin te dateren (afb. 6). Eerder was dat veel minder nauwkeurig en met een lagere resolutie alleen met radiometrische dateringen gebeurd.” (Hilgen, 2000.)



▲ Afb. 6. Het oudste deel van de Metochia Sectie (Metochia-A en -B). De cijfers 7 t/m 11 geven zandstenen (turbidieten) aan en de afwisseling van sapropelen en mergels; de sapropelen daarboven konden met Sicilië worden gecorreleerd. Een turbidiet is het resultaat van een onderzeese lawine. Cijfers geplot door Frits Hilgen.

Astronomische cycli zijn vaak door een geoefend oog al in het veld te zien, maar om de juistheid ervan te onderbouwen moeten deze gegevens nog gekoppeld worden aan de magnetostratigrafie (gebaseerd op omkeringen van het aardmagneetveld) en de biostratigrafie: grote bio-events waarbij belangrijke wijzigingen optreden in de aanwezigheid van bepaalde soorten van eencelligen (kalkrijke algen en ander plankton).

Hilgen legt uit: “Door het combineren van deze uiteenlopende waarnemingen aan het gesteente (astronomisch, biologisch én magnetisch), kan uiteindelijk een nauwkeurige absolute tijdschaal worden opgesteld door de sedimentaire cycli te correleren (“tunen”) naar astronomische curves voor veranderingen in de baanparameters van de Aarde: precessie, obliquiteit en excentriciteit.” (Zie de kadertekst ‘Astronomische cycli’.) “Deze laatste kunnen met behulp van een astronomische oplossing voor het zonnestelsel terug in de tijd worden uitgerekend. Het gaat daarbij vooral om de gravitatie interactie (aantrekking door middel van zwaartekracht, *red.*) met de andere planeten en de maan. Deze baanparameters beïnvloeden de hoeveelheid instraling die we van de zon ontvangen, en dus het klimaat. Die klimaatveranderingen worden uiteindelijk vastgelegd in het gesteente als sedimentaire cycli.”

Astronomische cycli

Het klimaatsysteem op aarde wordt in belangrijke mate bepaald door de ellipsvormige baan van de aarde om de zon en de positie van de aardas; de (aantrekkingskracht van de) planeten en onze maan spelen daarbij een belangrijke rol. Een eeuw geleden berekende de Oost-Europese wetenschapper Milutin Milankovitch de warmte-instraling, die varieert als gevolg van de astronomische variaties. Er worden drie cycli onderscheiden: de kortste cyclus is de *precessie*: de tolbeweging van de aarde. Deze cyclus varieert, en is gemiddeld zo’n 22.000 jaar, maar was in het geologisch verleden veel korter (onze maan stond toen dicht bij de aarde). Op dit moment is de rotatie-as gericht op de Poolster. De *obliquiteit*, met een voornaamste cyclus van 41.000 jaar, is de mate van scheefstand (van de rotatie-as). De hoek van de scheefstand varieerde de laatste miljoen jaar tussen ca. 22 en 24,5 graden; de huidige hoek is 23,45 graden. Ten slotte is ook de *excentriciteit* bepalend voor de warmte-instraling; deze langste cyclus (met als belangrijkste periodes 100.000 en 400.000 jaar) varieert tussen een vrijwel cirkelvormige en ellipsvormige

Zuurstofloze zeebodem

Op Gavdos tekent zich een cyclisch patroon in meerdere ontsluitingen af, waarin donker en licht elkaar afwisselen. Hilgen legt uit: “De donkere lagen zijn de sapropelen, ze zijn rijk aan organisch materiaal; de lichte zijn meer mergelachtig. Donker correspondeert met natte perioden en zuurstofarme condities op de zeebodem; licht correspondeert met droge perioden. Natte perioden treden op tijdens een intensieve moesson. Door de vele regen krijg je een minder zoute bovenlaag, die slecht mengt met het zoute water eronder. Hierdoor kan zuurstofrijk water uit de bovenste lagen de diepe bodem niet bereiken en ontstaan er zuurstofloze condities op de zeebodem. Er hopen zich rottingsproducten op en dit verandert de biologische processen op de zeebodem totaal. Dit is zichtbaar in de sedimenten in de vorm van bruine lagen, die sapropelen worden genoemd.”

Het voorkomen van individuele sapropelen hangt samen met de eerder genoemde precessiecyclus (de tolbeweging van de aarde, zie de kadertekst ‘Astronomische cycli’ op deze pagina). Sapropelen worden afgezet tijdens een zogeheten ‘precessie minimum’: wanneer het noordelijk halfrond een extra warme zomer en een extra koude winter heeft. (NB Momenteel leven wij tijdens een ‘precessie maximum’, terwijl de baan van de aarde om de zon bovendien bijna cirkelvormig is. Het klimaateffect van precessie op dit moment zou dus vanwege de combinatie van astronomische parameters minimaal zijn – Tüenter, 2004). Het voorkomen van bundels van sapropelen hangt weer samen met langere astronomische cycli.

Prelude van de Messinian Crisis

De jongere delen van de Metochia Sectie (C en D) bieden ook een kijkje in een tektonisch actieve fase, rond acht miljoen jaar geleden, wanneer de sedimentatiesnelheid op de zeebodem waar nu Gavdos ligt, halveert. Hilgen: “We denken dat dat te maken heeft met bekkenvorming op Kreta en randbekkens die lager komen te liggen; daar

aardbaan om de zon. Omdat de excentriciteit het klimaateffect van de precessie mede bepaalt (als de baan van de aarde om de zon cirkelvormig is, is er nauwelijks of geen effect van precessie), vallen sommige ‘precessiebanden’ weg. Dit is te zien op afbeelding 7 (en de achterplaat).



▲ Afb. 7. De uitstekende, bruinegekleurde sapropelen (top van Metochia-B) weerspiegelen de precessiecyclus. Groepjes van drie tot vier sapropelen hangen samen met de korte (100.000 jaar) astronomische cyclus van excentriciteit.



▲ Afb. 8. Diatomieten (de uitstekende banken) aan de noordzijde van de Metochia Sectie. Het massale voorkomen van diatomieten gaat vooraf aan de Messinian zoutcrisis.



▲ Afb. 9. Detail van diatomietenbanken (uitstekend en wit) op de top van Metochia-D. Voor geologen is het de vraag of de afzettingen boven de diatomieten evaporitische kalken zijn. Als dit het geval is, zijn deze afzettingen van Messinian-ouderdom.

komt dan meer erosiemateriaal in terecht, en dat kan de lagere sedimentatiesnelheid op Gavdos verklaren. Nog later, tussen circa 7 en 6 miljoen jaar geleden, zien we extreme veranderingen in bio-events, de eerdergenoemde grote veranderingen in de soortensamenstelling van de Middellandse Zee, een verschijnsel dat zich overal voordoet. In die tijd zien we bij allerlei soorten eencelligen die de Middellandse Zee bevolken, zoals planktonische foraminiferen, dat koudeminnende soorten binnen één cyclus plaatsmaken voor warmteminnende soorten.”

Maar het meest voor het oog zichtbaar in de jongste Metochia Sectie zijn toch wel de dikke, imposante banken van diatomieten (afb. 8), die, zoals Hilgen het uitdrukt, “de prelude vormen van de Messinian Salinity Crisis”. Deze ecologische crisis, die de Middellandse Zee treft, zal enkele honderdduizenden jaren aanhouden. Als gevolg van tektonische activiteit bij Gibraltar, wordt de Middellandse Zee vanaf ca. zes miljoen jaar geleden (vrijwel) afgesloten van de Atlantische Oceaan, waarbij in heel korte tijd evaporieten, zoals gips en tot 2 km dikke pakketten van steenzout (haliet), worden afgezet. Afb. 9.

Hilgen: “Ook de evaporietafzettingen zijn cyclisch en astronomisch ‘geforceerd’, en hangen opnieuw samen met precessie, hoewel door obliquiteit gestuurde ijstijden ook een rol kunnen hebben gespeeld tijdens de climax van de crisis. Deze climaxfase vond plaats tussen 5,6 en 5,55 miljoen jaar geleden, toen de 2 km dikke zoutpakketten waarschijnlijk in zeer korte tijd werden afgezet.” Roveri et al., 2014.

Diatomieten zijn erg licht omdat ze grotendeels bestaan uit holle skeletjes van diatomeeën (kiezelwieren), eencellige algen met een uitwendig kiezelskeletje. Hilgen: “Biogene silica blijft normaal gesproken niet bewaard op de zeebodem omdat het oplost in zeewater, dat onderverzadigd is aan silicium. Waarom hier wel diatomieten zijn gevormd, is mogelijk te verklaren door een oververzadiging van silica in het zeewater als gevolg van de geringere instroom van vers zeewater uit de Atlantische Oceaan. Deze gesteenten vormen in dat opzicht dus de aanloop naar de Messinian Saliniteits Crisis.”

Nog verder terug in de tijd

Mede dankzij Gavdos hebben geologen de geologische

tijdschaal ten tijde van het Laat-Mioceen (Tortonian en Messinian) preciezer in kaart kunnen brengen, maar inmiddels is men er in geslaagd nog veel verder terug te gaan, tot aan de grens tussen Krijt en Paleogeen. Een promovendus van Hilgen, Margriet Lantink, werkt momenteel aan de astronomische cycli ten tijde van het Precambrium, toen de precessiecyclus half zo lang was als nu (omdat de afstand tussen de aarde en de maan veel kleiner was dan nu). In dit promotieonderzoek gaat het om de aanwezigheid van astronomische cycli aan te tonen in zogenoemde Banded Iron Formations (BIFs), die zich vormden nog voordat de aardatmosfeer zuurstof bevatte.

Dankbetuiging

Ik ben Frits Hilgen en Jan Willem Zachariasse zeer dankbaar voor hun geduldige uitleg en feedback op mijn foto's van de Metochia Sectie tijdens mijn verblijf op Gavdos in oktober 2019, en de tekstcorrecties. Een welkome verrassing was de kennismaking met Henko de Stigter (NIOZ), die in 1989 een eindschrijftie schreef over de resultaten van zijn veldwerk op Gavdos. Ten slotte dank ik Anne Fortuin en Bert Boekschoten voor hun tekstsuggesties en Jan Heutink voor het samenstellen van een geologische kaart op basis van meerdere bronnen.

Alle foto's zijn van de auteur.

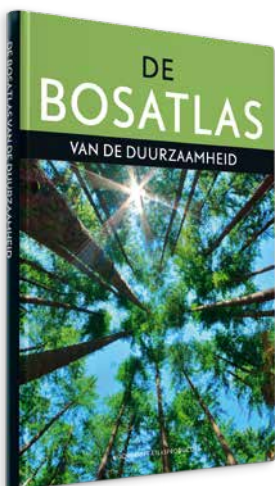
Referenties en meer lezen

- Antonarakou, A., H. Drinia, 2004. The occurrence of Bolboforma in the Upper Miocene Metochia Section, Gavdos Island, south of Crete (Greece). In: Newsletters on Stratigraphy Volume 40 Number 1-2, p. 111-122.
- Fortuin, A.R., 2007. De geologie van Kreta. De ontwikkeling van een stuk plaatgrens in de laatste 35 miljoen jaar. In: Gea, vol. 42, nr. 3, p. 101-108. Online te lezen via: natuurtijdschriften.nl/record/415444.
- Hilgen, F.J., W. Krijgsman, L.J. Lourens, 2000. Astronomische cycli: hun invloed op het klimaat op Aarde. Een metronoom voor de geologische tijdschaal. In: Gea, vol. 35, nr. 4, p.1-8. Online te lezen via: natuurtijdschriften.nl/record/415188
- Hilgen, F.J., W. Krijgsman, C.G. Langereis, L.J. Lourens, A. Santarelli, W.J. Zachariasse, 1995. Extending the astronomical

- (polarity) time scale into the Miocene. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 136, p. 495-510.
- Hinsbergen, D.J.J. van, E. Hafkenscheid, W. Spakman, M. Wortel, 2005. Nappe stacking resulting from subduction of oceanic and continental Lithosphere below Greece. In: *Geology* 33 (4): 325-328.
 - Hinsbergen, D. van, 2019. Artikel en animatie via: www.uu.nl/nieuws/verdwenen-continent-middellandse-zeegebied
 - Krijgsman W., F.J. Hilgen, C.G. Langereis, A. Santarelli, W.J. Zachariasse, 1995. Late Miocene magnetostratigraphy, biostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 136, p. 475-494.
 - Krijgsman, W. en A.R. Fortuin, 2007. Zout en gips in het Middellandse-Zeebekken: De saliniteitscrisis van het Messinien (Mioceen). In: *Gea*, vol. 40, nr. 3. Online te lezen via: <http://natuurtijdschriften.nl/record/415438>.
 - Krijgsman W., F.J. Hilgen, C.G. Langereis, A. Santarelli, W.J. Zachariasse, 1995. Late Miocene magnetostratigraphy, biostratigraphy and cyclostratigraphy in the Mediterranean. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 136, p. 475-494.

- Meijer, F., 2012. Paulus. Een leven tussen Jeruzalem en Europa. Athenaeum-Polak & Van Genneep. p.294-296.
- Roveri, M. et al., 2014. The Messinian Salinity Crisis: Past and future of a great challenge for marine sciences. *Marine Geology*, 352, 25-58.
- Stigter, H. de, 1989. Neogene-recent compressional tectonics in the Southern Hellenic Arc. Fieldwork-report Gavdos-SW Crete.
- Tsantilis, D., 2015. Crete, a continent on an island. Natural History Museum, University of Crete.
- Tuentner, E., 2004. Minder invloed van Milankovitsch cycli en de Nijl op het Middellands Zeeklimaat. NemoKennislink. Online lezen via: www.nemokennislink.nl/publicaties/minder-invloed-van-milankovitsch-cycli-en-de-nijl-op-het-middellands-zeeklimaat/
- Zachariasse, W.J., D.J.J. van Hinsbergen, A.R. Fortuin, 2008. Mass wasting and uplift on Crete and Karpathos (Greece) during the early Pliocene related to beginning of south Aegean left-lateral, strike slip tectonics, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 120, 976-993, doi:10.1130/B26175.1.

Boekbespreking



De Bosatlas van de duurzaamheid, door diverse auteurs. Noordhoff. 152 pag. ISBN 9789001120283. Prijs: 29,95 euro.

Deze nieuwe thematische Bosatlas begint met 'duurzaamheid' in de prehistorie. Grote diersoorten sterven uit waar *Homo sapiens* voet aan wal zet, zoals in Australië 45.000 jaar geleden. In de Romeinse tijd leidde zilverproductie tot hoge concentraties lood in de lucht. Maar de schaal van

dubbele pagina over urban mining (zie hierboven) neemt de mobiele telefoon als voorbeeld en laat de diverse onderdelen en bijbehorende chemische elementen zien. Zo is te zien dat bij de productie ervan alle continenten betrokken zijn.

De atlas kwam tot stand in samenwerking met bedrijfsleven en overheidsorganisaties. Wat - wellicht ook hierdoor - ontbreekt is de verrassing en een visie op de uitholling van het duurzaamheidsbegrip. Ook worden niet zo 'groene' als echte groen-innovatieve concepten gepresenteerd, zoals de PET-fles, inmiddels symbool van de wegwerpmaatschappij en belangrijk ingrediënt van de plastic soep.

Annemieke van Roekel
redactie.vanroekel@gea-geologie.nl

de milieubelasting is inmiddels tot ongekende proporties gestegen en de mensheid heeft zich als "geologische kracht" ontpopt. Met kaarten, diagrammen en infographics toont deze atlas uiteenlopende duurzaamheidskwesties. Een voor *Gea* toepasbaar thema is 'urban mining': (schaarse) mineralen terugwinnen uit 'afval'. Zo wordt voorgerekend dat voor een gouden trouwring honderd smartphones nodig zijn (100x0,03 gram, dus 3 gram), een hoeveelheid die neerkomt op 600 kg gouderts. De



Bron: Noordhoff Uitgevers