

Cyprus, een eiland vol verrassingen

door Vera Hoogland

verahoogland@hotmail.nl

Cyprus is één van de weinige plekken op de aarde waar een ofioliet aan het oppervlak ligt. Dit is een bijzonder fenomeen dat, behalve op Cyprus, o.a. in Oman en Tibet voorkomt. Wij als geologiestudenten hebben geluk dat er relatief dichtbij een ofioliet te bewonderen valt, en die kans mogen we dus zeker niet missen. Ondanks de coronacrisis, maakten we met een groep van twintig studenten van de masteropleiding Geology and Geochemistry aan de VU in de zomer van 2020 een veldwerkreis naar Cyprus.

Op pag. 8 in dit Gea-nummer is een fotoserie van Cyprus opgenomen n.a.v. een reis van stichting Georeizen in mei 2022.

Een ofioliet is een stuk van de oceanische korst en onderliggende mantel dat omhoog is gekomen en over de continentale korst heen is geschoven. De samenstelling en de lithologische opeenvolging van een ofioliet is niet zeldzaam; dit is namelijk een typische oceanische korst (afb. 1).

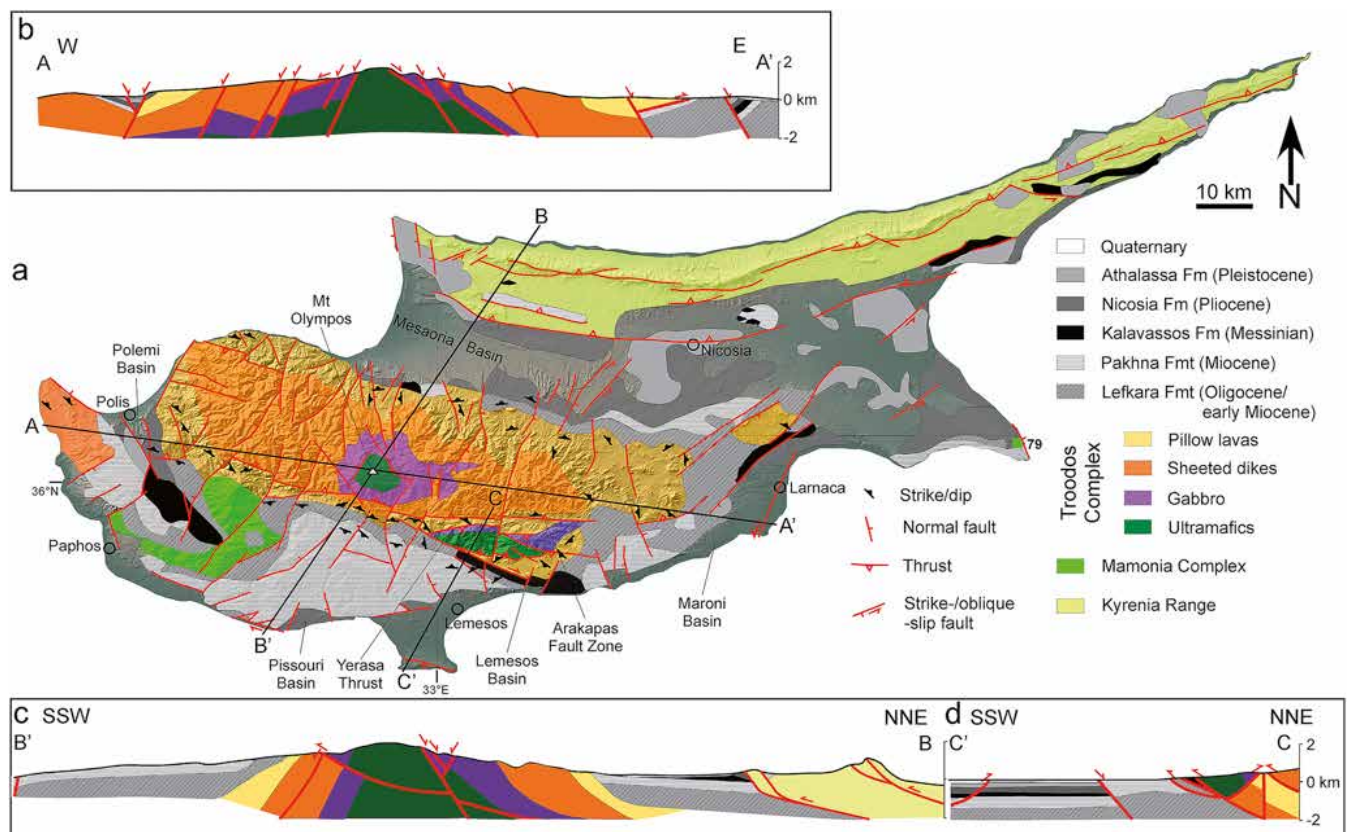
Het is echter wel bijzonder dat dit deel van de oceanische korst over de continentale korst is geschoven. De oceanische korst heeft namelijk per definitie een hogere dichtheid dan de continentale korst, en normaliter ligt

dergelijk zwaarder gesteente dieper dan het lichtere. Er moet dus eerst iets met die oceanische korst gebeuren voordat deze op de continentale korst kan komen te liggen. Vaak is dit een samenspel tussen chemische reacties en regionale tektoniek.

Serpentinisatie

Verschillende chemische reacties kunnen ertoe leiden dat de dichtheid van de oceanische korst vermindert. Eén van deze chemische reacties is serpentinisatie, een proces waarbij olivijn in de plaat wordt omgezet in serpentine, een mineraal met een lagere dichtheid dan olivijn. Deze olivijnen bevinden zich voornamelijk in gabbro's in de onderkant van de oceanische korst en in de peridotiet in de bovenkant van de mantel.

De omvorming van olivijn naar serpentine kan plaatsvinden wanneer het gesteente in contact komt met water en gehydrateerd raakt. Dit gebeurt onder andere – en in het geval van Cyprus – in een zogeheten 'supra-subductiezone'. Dit is een zone boven een subducerende plaat, waar als gevolg van *roll-back* van de overliggende plaat rek kan optreden in het *back arc* bekken. Het *roll-back*-principe houdt in dat de overliggende plaat uit-



▲ Afb. 1. Geologische kaart van Cyprus met het Troodos-ofiolietcomplex. Bron: Ring & Pantazides, 2019. With kind permission.

gerekt wordt doordat de subductiezone zich van deze plaat af beweegt. Hierdoor ontstaat een suboceanisch spreidingscentrum. Onder dit spreidingscentrum wordt de plaat al deels gerserpentiniseerd.

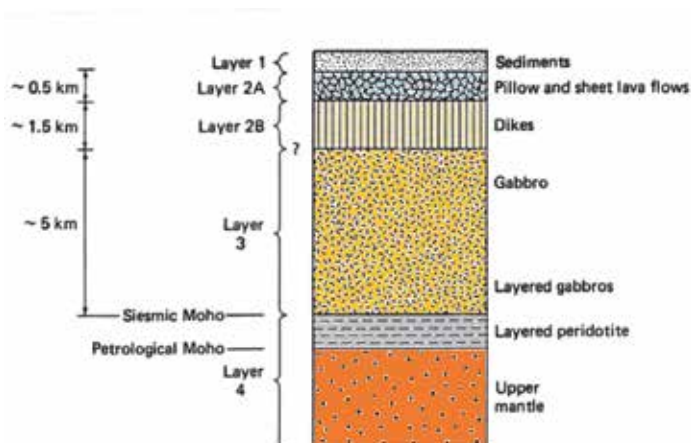
Daarnaast kan serpentinisatie plaatsvinden in de subductiezone. Door de rek en de buiging van de oceanische plaat, wanneer deze de subductiezone in buigt, komen er scheuren in de plaat. Hierdoor kan zeewater de plaat in sijpelen en de olivijn serpentiniseren. Een derde mogelijkheid van serpentinisatie is het gevolg van de aanwezigheid van waterhoudende mineralen in de subducerende plaat (in de vorm van OH-groepen). Tijdens de subductie worden deze mineralen instabiel en ontwateren ze; het lichtere water wordt omhoog getransporteerd. Dit zorgt voor serpentinisatie van de peridotiet in de mantelwig.

Tektoniek stuwt Troodos omhoog

Ondanks de serpentinisatie zijn het voornamelijk tektonische krachten die het omhoogkomen van een ofioliet veroorzaken. In het geval van de ofioliet van Cyprus, vormde er zich (zoals hierboven is beschreven) een suboceanisch spreidingsbekken als gevolg van de subductie van de Afrikaanse plaat onder de Euraziatische plaat. Daarbij vond serpentinisatie plaats in het oceanische spreidingsbekken. Wanneer in het suboceanische spreidingscentrum de transitie van extensie naar compressie plaatsvindt, vindt geen subductie plaats van de gerserpentiniseerde oceanische plaat, omdat deze nu een lagere dichtheid heeft. Daaropvolgend vond er moeizame noordwaardse subductie plaats van de eerder uitgerekte en verdunde continentrand van Noord-Afrika. Hierdoor kwam de ofioliet omhoog en schuift deze over de Noord-Afrikaanse continentrand. Na obductie zorgt verdere serpentinisatie – als gevolg van regenwater – voor het verder omhoogkomen van de ofioliet. Hierdoor kreeg het Troodosgebirge in Cyprus een dome-structuur.

Een ofioliet in het veld

Na (als gevolg van de coronabeperkingen) lange tijd niet meer in het veld te hebben gestaan, moet ik eerlijk toegeven dat ik wat moeite had met het herkennen van de verschillende intrusieve en extrusieve gesteenten. Gelukkig begonnen we vrij simpel en werd het naar het



▲ Afb. 2. Profiel van een ofioliet.

einde van het veldwerk steeds een stapje ingewikkelder. Een typische ofioliet bestaat (van onder naar boven, zie afb. 2) uit een opeenvolging van peridotiet, gelaagde gabbro, massieve gabbro, het *sheeted dike complex* en kussenlava's plus hun sedimentaire bedekking.

Tijdens het veldwerk zijn we deze opeenvolging van boven naar beneden tegengekomen in het veld. Zo zagen we op de eerste excursiedag prachtige kussenlava's: de Solea Graben (afb. 3): op de oceaانبodem gevormd stolingsgesteente, dat door de snelle afkoeling weinig tot geen kristallen bevat. Het gesteente dat wij zagen was grijs en bevatte veel gaatjes, die zijn ontstaan als gevolg van ontgassing. De gaatjes waren namelijk ooit luchtbelletjes. Dieper in de aardkorst bevinden zich plaat-



▲ Afb. 3. Links: kussenlava's; midden: een serie verticale dikes. Foto van de auteur.

vormige basaltische gangen (*sheeted dikes*): verticale magmastromen die het magma vanaf de magmakamer naar het oppervlak stuwten.

Deze *sheeted dikes* zien er erg indrukwekkend uit, en verschillende generaties van dikes kunnen elkaar doorsnijden. Daarnaast is er aan deze dikes goed te zien of er tektonische deformatie heeft plaatsgevonden. Dit type dikes, die ontstaan in een spreidingszone, zijn in principe altijd verticaal geïntreëerd, dus wanneer men in het veld een dike vindt die 45 graden helt, moet er rotatie hebben plaatsgevonden. Afb. 4 laat geroteerde dikes zien (ca. 40 graden rechtsom).

De mafische gesteenten die onder de dikes liggen, vond ik wat minder makkelijk te herkennen in het veld. De gabbro's (het diepte-equivalent van basalt) onderscheiden zich van de duniten (dieptegesteente met >90% olivijn), wherlieten (dieptegesteente met olivijn en clinopyroxen) en andere ultramafische gesteenten doordat deze grofkorrelig zijn en Si-rijker zijn dan ultramafische gesteente. Veldspaten zijn hierdoor nog aanwezig en dienen als een goed onderscheidingscriterium.

Op zoek naar de MOHO

Onze docent vertelde dat we op een zeker moment in het veld de MOHO (Mohorovičić-discontinuïteit, de grens van korst naar mantel) zouden kunnen zien.

Natuurlijk werden wij meteen enthousiast, want hoe vaak krijg je nou de kans om de MOHO in het echt te zien? Onze docenten lieten ons zelf op zoek gaan, en wat begon met veel enthousiasme, eindigde na meer dan een half uur al zoekend de berg oplopen bij 40 graden, in irritatie en ongeduld. Aan het einde van de dag zaten we er zó doorheen, dat we zomaar langs de MOHO liepen zonder het door te hebben! Nu waren we allemaal lichtelijk teleurgesteld dat de MOHO geen mooie, strakke grens is, maar een ingewikkelde opeenvolging van verschillende typen dieptegesteenten. Maar goed, het is al met al toch vrij zeldzaam om te kunnen zeggen dat we de MOHO hebben kunnen aanraken. De diepere gesteenten, waaronder de peridotieten en dunieten, konden we herkennen aan het hoge olivijn- en pyroxeengehalte in de stenen.

Natuurlijk ontkwamen we er niet aan om ook nog een flink pak sedimenten, dat direct bovenop de ofioliet is afgezet, te bestuderen. Deze sedimenten bestaan uit diepzee-afzettingen (Laat-Krijt) die graderen naar steeds ondieper. Ten slotte eindigt de sedimentopeenvolging met fluviatiele conglomeraten (Plio-Pleistoceen) (afb. 1). In de sedimentaire opeenvolging is goed te zien hoe de ofioliet langzaam omhoog kwam, waardoor het afzettingsmilieu steeds ondieper werd.

Al met al was ik zeer onder de indruk van de ingewikkelde, interessante geologie van Cyprus. Helaas hebben we het veldwerk niet kunnen afmaken, omdat Cyprus halverwege ons veldwerk besloot de vluchten van- en naar Nederland te schrappen. Ik heb echter ongelofelijk veel geleerd, en kijk er naar uit om het eiland nogmaals te bezoeken in de toekomst.

De redactie bedankt Frank Beunk (VU Amsterdam) voor het reviewen van dit artikel.



▲ Afb. 4. Naar rechts hellende dikes laten rotatie zien. Foto van de auteur.

Geologische reconstructie

Het eiland Cyprus is gevormd in het Laat-Krijt (ca. 90 Ma) in de Neo-Tethys Oceaan, tussen Eurazië en Afrika, maar komt pas boven water in het Plio-Pleistoceen. Tijdens het Vroeg-Krijt begon het proces van subductie van het oceanische deel van de Afrikaanse plaat onder de Euraziatische plaat, een proces dat nog steeds aan de gang is. Mariene sedimenten werden van de Afrikaanse plaat afgeschraapt en hoopten zich op in de subductiezone. Deze sedimenten, die door de convergentie zeer vervormd en gemetamorfoseerd zijn, zijn nu ontsloten in Cyprus als het Mamonia Complex.

Gelijktijdig vond er rek plaats in de Euraziatische Plaat als gevolg van de eerder genoemde slab roll-back. Hierdoor vormden zich verschillende spreidingsbekkens boven de subductiezone (supra-subductiezone), waar mariene sedimenten konden worden afgezet. Door de extensie in het spreidingsbekken, werd de Noord-Afrikaanse continentenrand uitgerekt. Ook vond er serpentinisatie plaats.

De hierop volgende moeizame subductie van de verdunde Noord-Afrikaanse continentenrand zorgde voor opheffing van de ofioliet. Extra serpentinisatie door regenwater in het Plio-Pleistoceen zorgde ervoor dat de ofioliet verder omhoog kwam en een dome-achtige structuur van het Troodos-gebergte veroorzaakte. Daarnaast begon in het Plioceen de eveneens moeizame subductie van een seamount - een verdikt stuk van de dunne Noord-Afrikaanse continentrand, de Eratosthenes Seamount. Magmatisme, tektonische activiteit en actieve subductie van de seamount vinden tot heden nog steeds plaats rond Cyprus, net zoals in het Egeïsche Zeegebied.

Referenties

- DiPietro, J. A. (2012). Landscape evolution in the United States: an introduction to the geography, geology, and natural history: Newnes.
- Fernández-Blanco, D., Mannu, U., Bertotti, G., & Willett, S. D. (2020). Forearc high uplift by lower crustal flow during growth of the Cyprus-Anatolian margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 544, 116314.
- Martinez, F., Okino, K., Ohara, Y., Reysenbach, A.L., & Goffredi, S. K. (2007). Back-Arc Basins. *Oceanography*, 20(1), 116-127.
- Ring, U., & Pantazides, H. (2019). The Uplift of the Troodos Massif, Cyprus. *Tectonics*, 38(8), 3124-3139.
- Searle, M. P., Cherry, A. G., Ali, M. Y., & Cooper, D. J. (2014). Tectonics of the Musandam Peninsula and northern Oman Mountains: From ophiolite obduction to continental collision. *GeoArabia*, 19(2), 135-174. doi.org/10.2113/geoarabia1902137
- H. Helmers. (2000). Peridotiet, een gesteentetype beschreven en verklaard (maar ook echt begrepen?). *Gea*, 33(1), 7-16. Lees online via natuurtijdschriften.nl/pub/415167.