

De rijke en afwisselende geologie van Zuidoost-Spanje

door Anne Rutger Fortuin
em. docent Faculteit voor Aard- en Levenswetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam
e-mail: a.r.fortuin@vu.nl

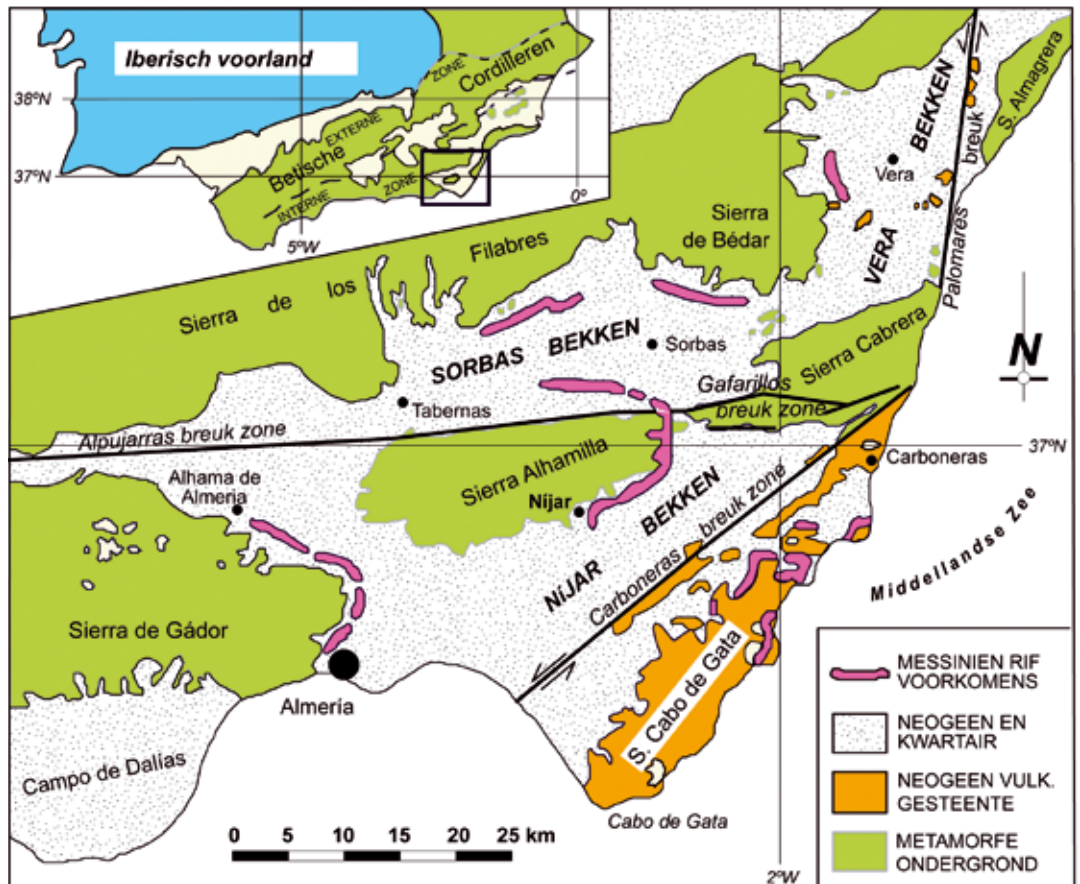
In een ver verleden brak het Iberisch korstfragment van Gondwanaland af en raakte zo als microcontinent Iberië op drift. Inmiddels ligt het alweer vele miljoenen jaren als deel van de Euraziatische plaat ingeklemd tussen een noordwaarts bewegend Afrika en een behoorlijk stabiel West-Europa. De Pyreneeën in het noorden en de Andalusische sierra's, oftewel de Betische Cordillieren in het zuiden van Iberië, zijn het directe gevolg van deze bewegingen.

Spanje is al een prettig land om je vakantie door te brengen, maar zowel beroeps- als amateurgeologen komen er extra graag vanwege de veelzijdige geologie. In deze bijdrage wil ik enkele geologische aspecten van Zuidoost-Spanje aanstippen, want het kan niet meer dan een oppervlakkige behandeling zijn van het moois daar. Zuidoost-Spanje bereizen betekent ervaren dat er snelle afwisselingen zijn tussen jonge sedimentaire bekken en de hoog oprijzende belendende sierra's ('sierra' is Spaans voor zowel zaag als bergrug) (afb. 1). De sierra's van de Betische Cordillieren omvatten de geologisch gezien opgeheven en metamorfe diepere korstdelen, plus een langzaam bekender wordend geopark met een vulkanische geschiedenis in het meest zuidoostelijke puntje. De opkomst van dit geopark, het 'Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar' (onderdeel van het Europese Geopark Netwerk, onder auspiciën van UNESCO), is er mede de oorzaak van dat er een rijk geïllustreerde gids op

Afb. 1. Geologisch overzichtskaartje van de Neogene bekken van Zuidoost-Spanje en hun omgeving. De inzet linksboven geeft de ligging van de hele Betische Cordillieren met hun indeling in externe en interne zone.

internet te vinden is over dit gebied en de aangrenzende streken (Villalobos Megia, 2007). Diverse Spaanse collega's hebben daaraan bijgedragen en zelfs buiten het park zijn er hier en daar borden geplaatst met goede geologische informatie. Daarnaast is er een degelijke Engelse excursiegids (Mather et al., 2001), die de hele regio beslaat en nog steeds verkrijgbaar is.

Zelf heb ik als voormalig docent en onderzoeker aan de Vrije Universiteit (VU) ook de nodige kennis en ervaring op kunnen doen in deze gebieden en dan met name in de Neogene bekken. Amsterdamse geologen van de Universiteit van Amsterdam (UvA) hebben in de Betische Cordillieren (afb. 1) een lange traditie van onderzoek gehad en pas na de samenvoeging van de geologische faculteiten van UvA en VU in 1984 werd dit ook een VU-aangelegenheid. Inmiddels is het gebied geliefd bij veel



Spaanse en buitenlandse onderzoekers en hun studenten. Het is er nog geen dringen bij de ontsluitingen, gelukkig, maar laten we maar gauw kijken. Overigens kan dat ook letterlijk onder leiding gebeuren, want ondergetekende heeft in 2013 onder auspiciën van de Stichting Georeizen een achtdaagse excursie naar deze regio opgezet en begeleid en een herhaling is in 2015 voorzien.

Tot in het vroege Pliocen waren de drie bekkens die we hier bespreken grotendeels marien. Pas ruwweg vanaf het begin van het Pliocen hebben verticale bewegingen deze bekkens aan het Spaanse vasteland toegevoegd, terwijl het vulkanische Cabo de Gata-massief vanuit de Alboran Zee naar het noordoosten geschoven kwam dankzij de aanwezigheid van de Carboneras-breukzone (afb. 1). Deze horizontaal verschuivende breuk scheidt dit massief van het aangrenzende Nijar Bekken. De hele streek ligt in de regenschaduw van de Sierra Nevada, het hoogste gebergte van de Betische Cordilleren, waarvan in het voorjaar de besneeuwde toppen van de Mulhacen (3394 m) vanuit de bekkens bij helder weer goed te zien zijn. In deze droogste streek van Spanje - en mede dankzij het milde Mediterrane klimaat - kun je desgewenst in alle jaargetijden rond-scharrelen. Door de relatief schaarse begroeiing is de mate van ontsluiting van het gesteente bovendien gunstig. Deze bijdrage is overigens geen excursiegids en niet alle afgebeelde locaties zijn in de overzichtskaartjes terug te vinden. Via kaartjes in de genoemde excursiegidsen kunnen liefhebbers deze plaatsnamen en wegen makkelijk opsporen.

Ontstaan van de Betische Cordilleren

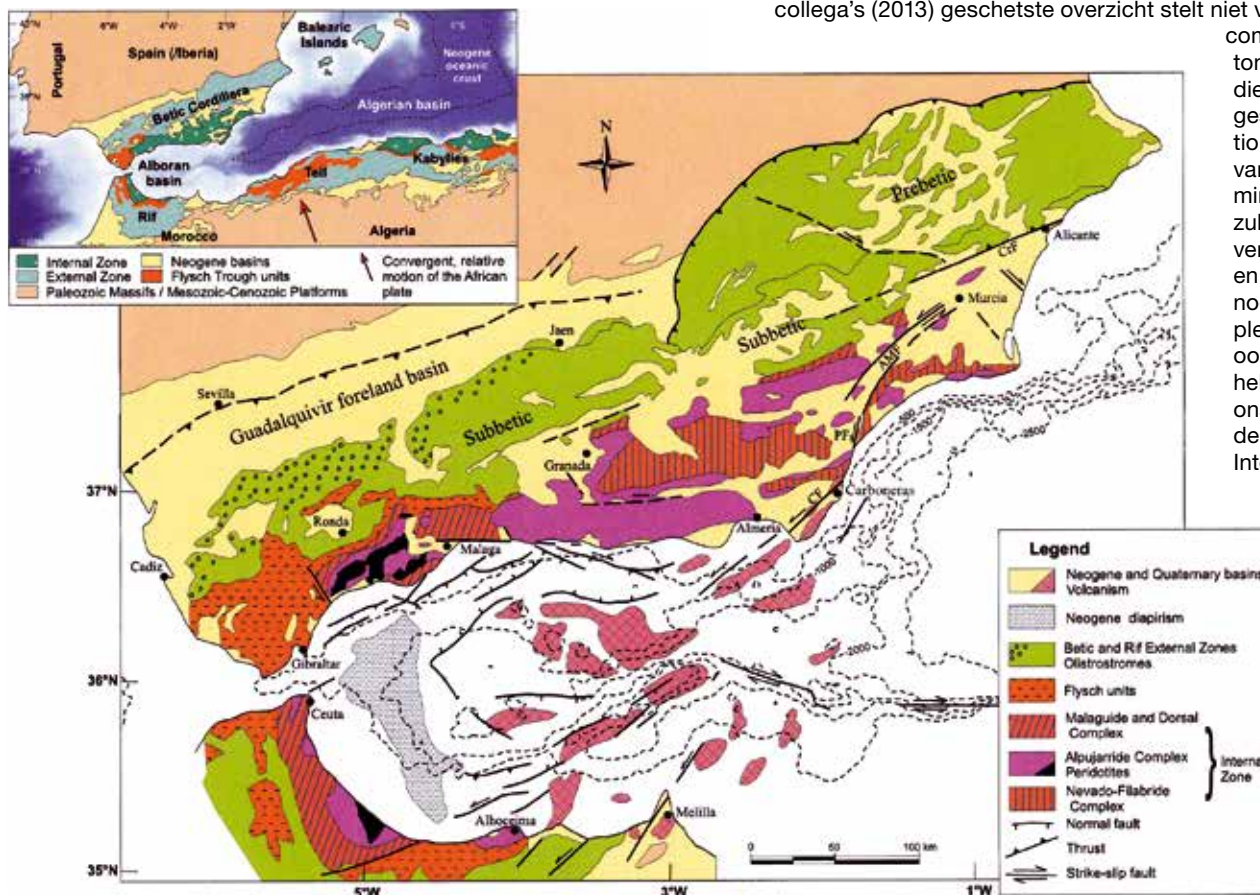
De Betische Cordilleren zijn gevormd uit de vroegere zuidelijke passieve continentrand van Iberië, die als gevolg van de alpiene botsing tussen de Afrikaanse en Europese plaat in elkaar is ge-

drukt. De geschiedenis van deze bergketens is nogal complex en is al behandeld in een eerder Gea-overzichtsartikel (Biermann, 2007, ook online vrij beschikbaar, zie onder literatuur). Lezers die het naadje van de kous willen weten verwijs ik naar Platt et al., 2013. Hier volgt alleen een uiterst compact overzicht.

Ruwweg 60 miljoen jaar geleden manifesteerden zich de eerste grote compressieve bewegingen, waarbij het front van de Afrikaanse (Nubische) plaat onder de Iberische plaat geschoven werd. Als eindresultaat zien we nu de Betische-Rif-gebergte-gordel (afb. 2). De huidige snelheid van nadering tussen Spanje en Afrika is tamelijk bescheiden (~5 mm/jr, de bewegingsrichting van Afrika ten opzichte van Europa is NW gericht, zie afb. 2, linksboven). Ter hoogte van Gibraltar draait de overwegend westzuidwestelijke-oostnoordoostelijke plooi richting van het Betische deel naar noord-zuid en in Marokko loopt dit gebergte min of meer gespiegeld door als Rifgebergte. De gesteenten van dit aangrenzende Rifgebergte vormen daarbij de gedeformeerde continentrand van de Nubische (Afrikaanse) plaat. Tussen de beide gebergten in ligt de Alboran Zee, die vooral uit sterk verdunde, 12-20 km dikke continentale korst bestaat. Ook de zogenaamde Interne Zone van de Betische ketens (afb. 1) hoort tot deze Alboran-korst, die vooral bestaat uit een stapel metamorfe dekbladen, als zichtbare getuigen van het complexe subductieproces tussen Afrika en Europa.

In plaattektonisch opzicht markeert de Betische-Rifgebergte-boog oostwaarts duikende subductie (onderschuiving), maar er bestaat geen eensluidende uitleg van de huidige plaattektonische ontwikkeling. Bij actieve subductie hoort bijvoorbeeld vulkanische activiteit, maar het meest recente vulkanisme in de Betische ketens is al 5 miljoen jaar geleden geëindigd. Volgens sommige geofysici scheurt deze oostwaarts duikende lithosfeerplaat van ondergeschoven en weggezonden oceanische korst in westelijke richting langzaam los. Het door John Platt en collega's (2013) geschetste overzicht stelt niet voor niets dat de

complexe plaat-tektonische processen die een rol hebben gespeeld de traditionele concepten van gebergtevorming tartten. We zullen er hier niet verder bij stilstaan en volstaan met het noemen van enkele plekken die het oog wat te bieden hebben, waarbij we ons beperken tot de geologie van de Interne Zone.



Afb. 2. Tektonisch overzicht van de alpiene Betische-Rif-gebergteboog. Het aangegeven Prebeticum en Subbeticum vormen samen de Interne zone. De afkortingen voor de aangegeven hoofdbreuken in het Alicante-Almeria-gebied zijn: AMF = Alhama de Murcia-breuk; PF = Palomares-breuk; CF = Carboneras-breuk. Kaart gebaseerd op meerdere bronnen; deze versie is ontleend aan Meijninger, 2006.



Afb. 3. De zuidelijke randbreuk van het Sorbas Bekken in een wegbocht ca. 1 km ten oosten van Lucainena. Links op de foto de rode kleuren van het Malaga Beticum, met rechts daarvan het breukcontact met sterk verbrokken Tortoon-afzettingen (diepere deel). Wrijfkrassen maken het plaatselijk mogelijk om een dextraal bewegingskoppel te concluderen, zoals ook aangegeven.



De drie hier te bespreken Vera-, Sorbas- en Nijar-bekken geven een mooi beeld van ongeveer 10 miljoen jaar bekken-geschiedenis en wel vanaf het Tortonien (Laat Mioceen) tot nu toe. Het westelijke deel van het Sorbas Bekken wordt ook wel Tabernas Bekken genoemd (afb. 1). Ten tijde van hun vorming waren de bekken onderling verbonden en samen met verder westwaarts gelegen zeestraten vormden de Betische bekken een belangrijke verbinding tussen de wateren van de Atlantische Oceaan en de Middellandse Zee. De Straat van Gibraltar bestond nog niet, die opende zich pas 5,33 miljoen jaar geleden en die opening markeert het begin van het Plioceen. Het moment van doorbraak betekende voor alle Mediterrane bekken een belangrijke en ook in het sediment zichtbare verandering; deze omslag is internationaal vastgelegd als de tijdgrens tussen het Mioceen en het Plioceen.

De bekken in Zuidoost-Spanje zijn te beschouwen als doorontwikkelde breukdalen tussen gestaag oprijzende en in grote lijnen antiforme sierra's. Antiforme structuren zijn plooistructuren waarin de lagen vanuit de plooirug in tegengestelde richting hellen. Deels zijn de bekken door breuken begrensd, waarvan de west-oost verlopende en uit de verder westelijker sierra's aankomende Alpujarras-breukzone de belangrijkste is (afb. 1, 3 en 6). Deze breukzone begrenst de noordkant van Sierra Alhama. Verder oostwaarts splitst de breuk zich op in een noordelijke en een zuidelijke Gafarillos-tak. De noordelijke sector is niet meer actief, terwijl de zuidelijke zone dat wel is. Deze Gafarillos-

Afb. 4. Een van de vele marmereexploitaties bij Macael. Deze groeve is vanuit het zuiden komend goed zichtbaar en laat zien hoeveel dekterrein afgebouwd moet worden om drie niveaus met de zeer begeerde witte tot grijze marmere te kunnen exploiteren. De dikste marmere laag op de foto is ca. 4,4 m dik.



Afb. 5. De witte Andalusische marmeer werd al toegepast bij de beroemde Leeuwenfontein van het Alhambra en de omringende ranke zuilen.

breuken voegen zich verder oostwaarts bij de Carboneras-breukzone en samen lopen ze uit tegen de NNO-ZZW gerichte Palomares-breuk.

De west - oost gerichte Alhamilla-Gafarillos-breukzones vertonen een rechts-horizontaal verschuivend en transpressief (= ook samendrukkend naast verschuivend) karakter. Onder invloed van deze breuken is het oudere Tortoon van het zuidelijke deel van het Sorbas Bekken, dat aan deze breuken grenst, flink geplooid en gebroken onder invloed van compressie in combinatie met dextrale strike-slip bewegingen en omhoog komen gedurende het laatste Tortonien. Het dwarsprofiel (afb. 6) laat dit (versimpeld) voor de Cantona-rug zien, waar steil opgeplooid Tortoon van het zuidelijke Sorbas Bekken begrensd wordt door de Gafarillos-breuk, die daar de noordrand van het kleinere Cabrera-massief vormt.

De kleinere Sierra Cabrera begon pas gedurende het jongere Messinien als topografisch element omhoog te komen en was de voornaamste reden dat de Sorbas-Vera-bekken geïsoleerd raakten van het Nijar Bekken. Je kunt dit o.a. aantonen op basis van het feit dat de open mariene, vroeg-Messinien Abad mergels in het Sorbas en Nijar Bekken precies overeenkomen, terwijl het jongere Messinien verspoelde gips bevat dat door erosie vanuit het Cabrera-gebied is aangevoerd. En er is nog een aardig argument: langs de noordrand van het Sorbas Bekken ter hoogte van Los Castaños is aan de N340 het contact tussen de Betische

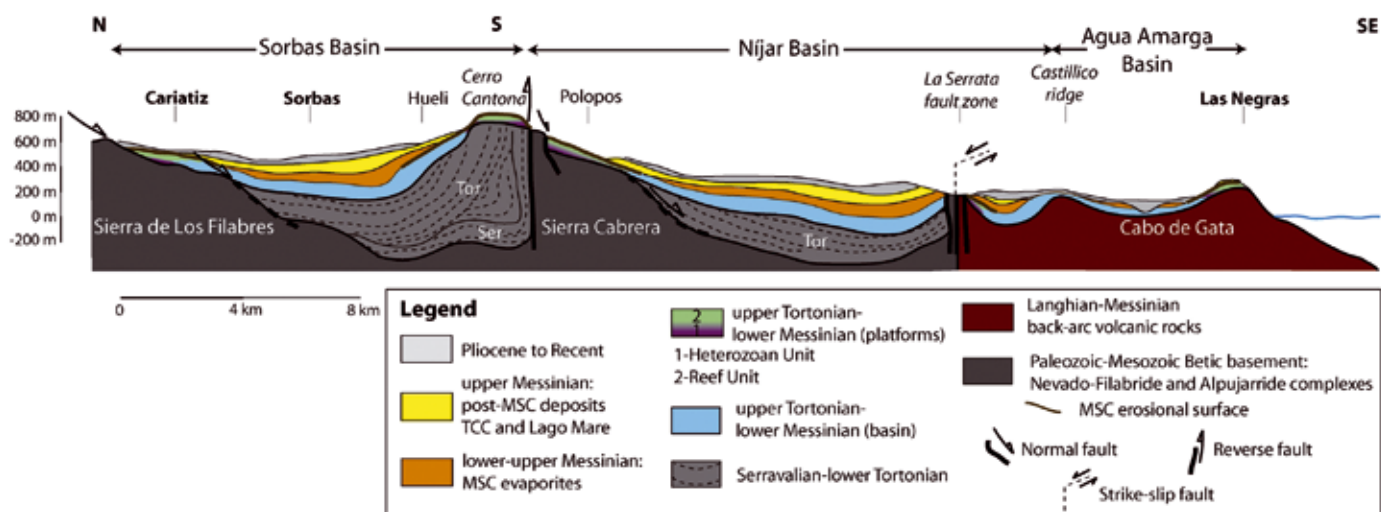
ondergrond en de laat-Tortoon-afzettingen van de Azagador Member mooi ontsloten (afb. 7). Op dit onregelmatige contact volgen grote, marien afgeronde keien. In een bescheiden zeebekken zou de golfslag niet voldoende energie hebben om dergelijke grote keien zo mooi af te ronden. Daarvoor moet de open zee bij stormen de kust kunnen beuken. Kortom, er was toen nog geen zuidelijke bekkenrand in de vorm van Sierra Cabrera, waarvan de noordelijke hellingen niet ver verwijderd zijn.

Kijken naar breuken

De bekken maken deel uit van wat wel de Trans-Alboran Schuifzone genoemd wordt, een breukensysteem dat vanaf Noord-Marokko is te vervolgen in de richting van Alicante (afb. 2) en gekenmerkt wordt door NO-ZW breuken met een sinistrale (linksverschuivende) bewegingscomponent (afb. 8). Structureel geologisch onderzoek toont aan dat de breuken en bijbehoren-

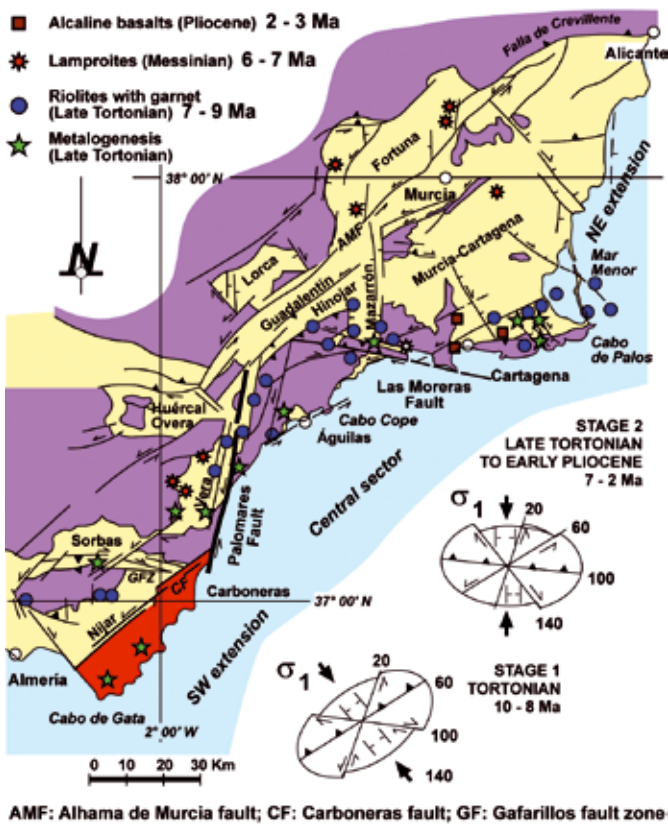


Afb. 7. Stratigrafisch contact met verdrongen kustreliëf tussen Betische schisten van het Nevado-Filabride-dekblad (aan de noordrand van het Sorbas Bekken bij Los Castaños) en het mariene Azagador Member, dat aan de basis een keienlaag is. De keien zijn afgerold in een sterke brandingszone, een aanwijzing dat deze bekkenrand toen nog in rechtstreeks contact stond met de Alboran Zee. Sinds een jaar wordt de ontsluiting door stalen veiligheidsnetten bedekt, maar de situatie is nog goed zichtbaar.



Afb. 6. Vereenvoudigd en overhoogd dwarsprofiel vanaf de noordrand van het Sorbas Bekken bij Cariatiz over de Cantona-rug met net als bij Cariatiz meteen rifbedekking, gevolgd door de Gafarillos-breuk en vervolgens het Nijar Bekken. Ten oosten van de Serrata- (= Carboneras-) breukzone volgen de vulkanische gesteenten van het Cabo de Gata-massief, die op hun beurt bedekt zijn door mariene sedimenten die tot het kleine Agua Amarga Bekken gerekend worden.

de bekkenpatronen vooral bepaald zijn door het enkele malen wijzigen van de richting van regionale compressie. Gedurende het Tortonien zorgde NW-SE plaatsspanning voor dextrale beweging langs de W-O gerichte breuken en juist voor sinistrale verschuiving langs de NO-ZW gerichte hoofdbreuken (zie Stage 1 in afb. 7; afb. 3). Tegen het eind van het Tortonien activeerde



Afb. 8. Tektonisch overzicht van de Betische randbekkens zoals deze zich tussen Alicante en Almeria gevormd hebben als gevolg van doorgaande sinistrale strike-slip bij wisselende NW-ZO en NZ gerichte compressie (naar Montenat en Ott d'Estevou, 1996). Onder invloed van de breuken is op meerdere plaatsen en op verschillende momenten vulkanisme opgetreden. De verspreiding, ouderdom en samenstelling van de verschillende eruptiepunten is aangegeven.



Afb. 9. De Cerro Colorado bij Sopalmo, Sierra Cabrera, is door zijn kleuren en goede zichtbaarheid de meest bezochte ontsluiting van de Carboneras-breuk. De breukzone snijdt hier door het basement met sterk verknepen eenheden, waaronder ook resten van Vroeg-Miocene mergels.



Afb. 10. Wrijfspiegels in de Palomares-breukzone, te zien bij het beklimmen van de Moorse Perulico-wachttoeren uit de 13e-14e eeuw.

draaiing van de drukrichting naar noord-zuid, juist NNO-ZZW sinistrale breuken, waardoor de W-O breuken van horizontaal verschuivend veranderden in breuken met een opschuivend karakter door de noord-zuid gerichte drukrichting. De Palomares-breuk is een belangrijke NNO-ZZW gerichte langsverschuivende breuk. Deze loopt parallel met de kust aan de oostkant van Sierra Cabrera en doorsnijdt vervolgens het oostelijke deel van het Vera Bekken (afb. 1) De breuk was vooral tijdens het Messinien - Vroeg-Pliocene actief. De Carboneras-breuk is nog steeds actief. Waar deze het Nijar Bekken doorsnijdt valt de breukzone op door de vorming van een heuvelrij bestaande uit in de breukzone opgestuwde laagpakketten. De horizontale verschuiving langs de Carboneras-breuk is ten minste 15 km en maximaal 40 km. De Messinien- en Pliocene afzettingen van het noordelijke Nijar Bekken zijn onder invloed van de Gafarillos-Carboneras breukenactiviteit tot soms steile plooien gedeformeerd. De invloed van flinke aardbevingen ten tijde van het latere Messinien is in dit gebied aantoonbaar (Fortuin en Dabrio, 2008). De kustweg van Carboneras naar Mojacar is niet alleen toeristisch aantrekkelijk, het geeft je ook de kans om wat van



Afb. 11. Sedimentaire hellingen (clinoforms) in Messinien-rifkalken bij Cariatiz aan de noordrand van het Sorbas Bekken. Het levende rif groeide destijds dicht onder de zeespiegel en het afgebroken dode rifmateriaal vormde aan de zeekant een natuurlijke helling. Door uitgroei van het rif over het eigen puin is zo een bekkenwaarts hellend kalkpakket gevormd. Op de foto is zichtbaar dat de clinoform naar onderen toe minder steil kan hellen en uitpunten doordat het steeds verder zeewaarts verplaatste hellingmateriaal plaats maakt voor fijnkorreliger bekkensediment. Dit rifsysteem is gedetailleerd bestudeerd om zo goed mogelijk inzicht te krijgen in onder meer reacties van rifgroei op zeespiegelfluctuaties. De vrijwel massieve rifkalk zit bovenin de topografie en is ook deels afgeërodeerd.

de breukactiviteit te zien. Sla bij binnenkomst in het dorpje Sopalmo rechtsaf en volg de onverharde weg door het droge rivierdal richting kust. Na 750 m bereik je de niet mis te lopen bonte kleuren in de helling van de Cerro Colorado (afb. 9). Dit is de plek waar de Carboneras-breuk het metamorfe Cabrera-gesteente doorsnijdt. De bonte kleuren zijn te danken aan het voorkomen van in de breukzone meegesleurde rode silt en grijze en zwarte fyllieten, glimerschisten, etc. De breukzone is

en duinzanden te zien. Deze dekken de Palomares-breukzone af, wat aantoont dat de verschuiving nu inactief is. Aan de zuidkant van de toren is langs het klif een natuurlijke boog in de rotsen te zien.

Een kijkje in de bekkens

De bekkens blijken nog steeds aantrekkelijk voor onderzoek. Het laatste decennium zijn er weer heel wat aanvullende studies

hier een paar honderd meter breed. De invloed van de Palomares-breuk is iets verderop te zien en wel aan de kust ten zuidoosten van Mojacar. Vervolg vanuit Sopalmo de kustweg richting Mojacar en sla rechtsaf op een rotonde zodra de kust weer bereikt wordt en volg een onverharde kustweg richting Castillo de Macenas. Na ca. 1 km volgt de Perulico-toren, een gerestaurerde moorse wachttoren die beklommen kan worden. Door goed op te letten bij het omhoog gaan vallen diverse breukvlakken met subhorizontale wrijfkassen te ontdekken (afb. 10). Zulke wrijfkassen ontstaan als gevolg van horizontale schuif in de breukzone. Net voor de toren zijn bovendien opgeheven oud-Pleistocene (Tyrrhenien) strand-



Afb. 12. Continentale conglomeraten van het oudste Tortoon, Rambla de Tabernas, afgezet in alluviale puinkegels. De lagen staan bijna verticaal. Boven het hoofd van het studentengroepje rechts is een megaclast met een lengte van 3,40 meter zichtbaar.



Afb. 13. Het droge, mergelrijke badlands turbidietenlandschap dat inspirerend was voor het opnemen van westernfilms. Op de voorgrond de Rambla de Tabernas.

gepubliceerd, zeker waar dit de Messinien-problematiek betreft. De Sorbas-Nijar-bekkens zijn daarvoor dé standaard geworden voor het westelijke Middellandse Zeegebied. Voor meer informatie over de spannende geschiedenis van een Middellandse Zee, die tussen 8 en 6 miljoen jaar geleden langzaam aan de westkant dichtgeknepen wordt met alle gevolgen van dien voor de sedimentatie (indampen en uiteindelijk zelfs deels droogvalen) leze men het eerdere Gea-artikel hierover (Krijgsman en Fortuin, 2007, ook online vrij beschikbaar, zie onder literatuur). De bekkenstratigrafie kan hier slechts uiterst summier behandeld worden. Grofweg valt de 10 miljoen jaar bekkenvulling in te delen in kalkrijke en vooral klastische eenheden, met als uitzondering de tot ruim 100 m dikke gipsafzettingen, evaporieten uit het Messinien. Het merendeel van de kalkige pakketten is langs de ondiepe bekkenranden afgezet als franjerif. Aanvankelijk vooral gedurende het jongere Tortonien langs de noordrand van het Sorbas Bekken en daarna in de vorm van algen- en mollus-

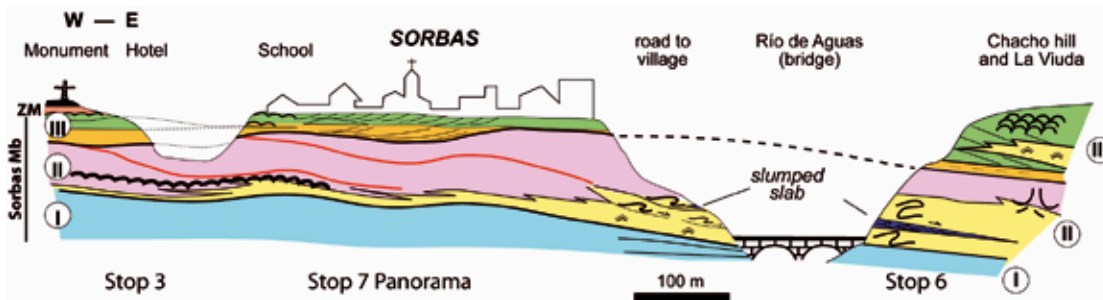
kenrijke, gemengd zandig-kalkige randafzettingen (Azagador Member). Deze gaan lateraal en naar boven toe over in fijnkorrelige, dieper mariene mergels. Deze zogenaamde Abad-mergels zijn rijk aan planktonische en benthonische foraminiferen en behoren tot het nog normaal mariene oudere Messinien. Door hun faunarijckdom en goede correlatiemogelijkheden hebben deze mergels een goed beeld opgeleverd van de wisselende klimatologische- en paleoecologische omstandigheden onder invloed van astronomisch bepaalde cycli. Door verslechterende verbandingen met de wereldzee wordt de

jongere Abad gekenmerkt door de herhaalde aanwezigheid van gelamineerde, sapropelische mergels (mergels verrijkt met organisch materiaal). Zulke lagen werden afgezet onder periodiek warmere en vochtiger omstandigheden, waarbij door zuurstofarmoede op de zeebodem organische resten in het sediment achterbleven. Vanaf deze omslag ontwikkelden zich langs de bekkenranden flinke rifsysteem, gekenmerkt door maar één koraalsoort: *Porites*.

Een rif dat zich langs een bekkenrand heeft gevestigd is naast ecologische factoren ook sterk afhankelijk van het gedrag van de zeespiegel. Een dalende zeespiegel zal ertoe leiden dat het levende rif gedwongen wordt zich verder zeewaarts bovenop het eigen afbraakmateriaal te ontwikkelen. Dat rifpuin (en de daarmee geassocieerde levende organismen, zoals o.a. de kalkalg *Halimeda* bij deze *Porites* riffen) ligt als een soort puinstort voor het rif en kan zeewaartse hellingen bereiken van 30



Afb. 14. Het Gordo-Megabed zoals ontsloten in de Rambla de Tabernas. Op deze plaats is een meegesleurd laagpakket aanwezig (zie de vreemd geplooidde lagen) dat feitelijk een apart sedimentbrok is met een afmeting van 60 x 20 meter. Op de meeste plekken zie je vooral een ongesorteerd mengsel van stenen en mergelballen in een mergelig-kleiige matrix. De basis van de hier ca. 40 m dikke laag is hier niet ontsloten, wel de geleidelijke overgang naar de erboven liggende gewone turbidieten.



Afb. 15. West-oost profiel (naar Roep et al., 1998) door de drie kustsequenties van de Sorbas Member, ontsloten in de steilwanden en langs de weg bij Sorbas. Dit profiel is ongeveer loodrecht op de oriëntatie van de vroegere strandwal. Wandelend van oost naar west langs de N340 kun je de ontwikkeling binnen de tweede sequentie volgen. Eerst zijn er de soms wat geslumpde offshore kleien en zanden (groengele kleur) te zien en geleidelijk gaan deze over in kustnabije afzettingen met duidelijke sporen van golfwerking (roze kleur). Dichter naar de hoofdontwikkeling van de strandwal volgt een niveau met algenlaminaties (stromatoliet: gegolfde laag, zwart). In de derde sequentie onder het dorp zijn (waarschijnlijk) ook schieef gelaagde eolische afzettingen tot ontwikkeling gekomen.

graden. Een dergelijke oorspronkelijke sedimentaire helling wordt een cliniform genoemd. Zulke cliniforms zijn op meer plekken te zien, waarbij die aan de noordrand van het Sorbas bekken bij Cariatiz wel tot de mooiste behoren. De makkelijkste manier om dit fenomeen te zien is door de weg te nemen van Sorbas naar Lubrin (A1101) en dan na een km of 7 scherp rechtsaf te slaan richting Cariatiz, een smalle geasfalteerde landweg. Al gauw volgt het panorama (afb. 11). Dikke klastische eenheden zijn vooral tijdens het Tortoon afgezet. De oudste afzettingen, nabij Tabernas ontsloten, zijn weinig verharde, in alluviale puinwaaiers afgezette en zeer matig afgeronde conglomeraten en grindige zanden (afb. 12). Dit grof-klastische materiaal, vooral bestaande uit toermalijngeis, granaatglimmerschisten en zwarte schisten, werd geleverd vanuit de opkomende Sierra de los Filabres, dus vanuit het noorden. Sierra Alhamilla was nog niet of maar ten dele boven water. Door doorgaande bodemdaling verdrongen de puinkegels en verschenen dieper-waterafzettingen in de vorm van turbidieten (afb. 13). Deze episodisch uit modderig-zandige, turbulente bodemstromingen afgezette zandrijke lagen worden afgewisseld door mergelig-kleiige lagen, gevormd tijdens rustige bezinkingsperiodes. Terwijl een turbidiet binnen een dag afgezet kan worden heeft een even dikke mariene kleilaag doorgaans duizenden jaren nodig. Wie waar dan ook turbidieten bekijkt realiseren zich dat die plotselinge zandaanvoer dus meer uitzondering dan regel was, echte gebeurtenissen binnen het bekken. De dikte van deze Tortoon-serie kan oplopen tot 1-2 km. Vooral de turbidieten van het Tabernas Bekken zijn goed ontsloten en in detail onderzocht. Dit laatste vooral om meer te weten te komen over de geometrie van de zandrijke aanvoersystemen en hun relatie

Afb. 16. Een deel van de tweede sequentie ca. 100 m voor het hotel (afb. 15). De student staat op het golvende oppervlak van de stromatoliet (met groen aangegeven). De afdekkende lagen zijn links op de foto ouder dan rechts, wat wijst op een iets oplopende topografie naar rechts (W) tijdens de sedimentatie. Eveneens is goed te zien dat er als gevolg van de geleidelijke verondieping binnen de sequentie een verticale toename is van de gemiddelde korrelgrootte (van mergelige naar zandige calcarenieten), samen met vergroving van de sedimentaire structuren door golfwerking (onderste helft kleinschalige golfribbels, in snoeren ontwikkeld en naar boven toe grootschalige sets door veel heftiger golfwerking dicht onder de brandingszone).



tot de fijnkorrelige bekensedimenten die vooral buiten de aanvoersystemen afgezet werden. Kennis van de geometrie van zandige diepwatersystemen en hun interrelatie met afdekkende kleipakketten is van essentieel belang voor de olie-industrie en heel wat oliegeologen hebben inmiddels dit terrein bezocht en zo hun inzicht laten bijspijkeren.

Het grappige van dit Tabernas-gebied is dat dit stevig ingesneden

mergel- en zandlandschap met zijn woestijnachtige karakter Wild-West-achtig aandoet en door filmregisseurs in de jaren '60 en '70 werd uitgekozen voor westernfilms. Veel beroemde acteurs, van Clint Eastwood tot Brigitte Bardot, hebben zonder dit te beseffen turbidieten aanschouwd. Klassieke westerns als "The good, the bad and the ugly", of "Once upon a time in the West" zijn er geschoten. Wie dus niet alleen maar turbidieten wil bekijken kan gewoon naar nagebouwde cowboystadjes als "Mini Hollywood" en "Fort Bravo" rijden en zich daar laten vermaken door schietende en paardrijdende acteurs. Onlangs is men zelfs met een themapark aan de slag gegaan. De nu zo in opkomst zijnde Tabernas-woestijn was in de tijd van de filmopnames een afgelegen en armoedige streek. De Amsterdamse promovendus Kick Kleverlaan had er in die jaren zijn onderzoeksterrein (Kleverlaan, 1987). Amerikaanse politiewagens, indianenpoppen en cowboys vrolijkten zijn gezwoeg af en toe op. Een belangrijke waarneming van hem bleek dat het zogenoemde Gordo Megabed – een tot 40 m dikke laag van uiteengevallen en vergleden resten van oudere lagen en keien afkomstig van de bekkenrand – een te karteren laag bleek. Hij kon het over bijna 13 km uitkarteren en zo de nogal monotone pakketten erboven en eronder goed van elkaar scheiden, wat voor de bekkenanalyse van groot nut bleek. Deze Gordo (= dikke) laag (afb. 14) wordt gezien als het resultaat van een enkele

catastrofale gebeurtenis. Een flinke beving vermoedelijk, waarbij een deel van de bekkenrand instabiel werd en afgleed. Het volume van het vergleden materiaal bedraagt naar schatting 6 km³.

Rond Sorbas

Sorbas kent diverse ambachtelijke pottenbakkerijen. Fijnkorrelige pakketten van het niet meer mariene en allerjongste Messinien worden daarvoor in de nabije omgeving geëxploiteerd. Een van onze studenten vond in deze afzettingen de resten van een grote landschildpad, terwijl vertebratenpaleontologen in een kleilaag in de groeve de kiezelen van kleine muisachtige zoogdieren vonden en beschreven. Hun vondst bevestigt correlatie met het allerbovenste Messinien (Martin-Suarez et al., 2000). Sorbas is een bijzondere plaats omdat het aan alle kanten omgeven wordt door steile hellingen. Dit komt doordat twee



Afb. 17. Mega-scheve gelaagdheid gevormd door migrerende zandbanken (type 'sandwave') in het dal van de Alias-rivier ten zuidwesten van El Argamason, Nijar Bekken. Voor de duidelijkheid zijn de setbegrenzungen in rood aangegeven. De zichtrichting is naar het zuiden, terwijl de stroming vooral (maar niet alleen) west- en oostwaarts gericht was.

riviersystemen, de grotere Rio de Aguas en de zijrivier Rambla de Cinta Blanca, een soort erosie-eiland met daarop Sorbas achterlieten. Onder het dorp zijn bijzondere Messinien-afzettingen ontsloten (Sorbas Member) in de vorm van drie boven elkaar liggende kustsequenties (afb. 15). Rond Sorbas bevond zich tijdens het jongste Messinien in het bekken een noord-zuid georiënteerde strandwal. Deze begrenste aan de westkant een ondiepe, kleiige lagune en aan de oostkant een strand dat overging naar dieper water. Een Sorbas-sequentie bestaat uit een laagpakket van 10 tot 25 m dik dat aan de basis vooral kleiig is, met dunne zandige tussenlagen, en buiten de kust in wat dieper water is afgezet. Naar boven toe wordt het karakter van de afzettingen minder diep, golfwerking wordt duidelijk zichtbaar en uiteindelijk verschijnen witte, wat oölitische zanden (zandkorrels omhuld met een kalkkorstje) die zelfs wat grofkorrelig worden. Deze markeren met hun vlakke, grote scheve gelaagdheden het strandniveau.

Omdat het Messinien-milieu door het extreme klimaat geen tot heel weinig biota bevatte is het sediment nauwelijks omgewoeld, zodat kleinschalige sedimentaire structuren zoals golfribbels erg mooi bewaard zijn. Al wandelend langs de grote weg voor het dorp langs, vanaf de oostelijke afslag naar het dorp (bij de brug; afb. 15) tot aan Hostal Sorbas bij de hoofd-

toegang tot Sorbas, kun je in de tweede sequentie prachtig de geleidelijke laterale en verticale verondieping volgen met o.a. door golfwerking gevormde sedimentaire structuren, waarbij op een gegeven moment ook algenlaminaties met hun opbollende bovenkant te zien zijn; duidelijke indicatoren voor een zodanig extreem milieu dat bodem begrazende en algen minnende organismen zich er niet kunnen ophouden (afb. 16). Wie tegenwoordig Sorbas zegt moet eigenlijk ook aan de gips-grotten denken. De Cuevas de Sorbas zijn een interessante optie voor hen die graag ondergronds een kijkje nemen. Het gaat om een uitgebreid gangenstelsel door oplossing van gips. Via internet kan men hierover verdere informatie krijgen naast de nodige voorlichting in Sorbas zelf. De grotten liggen in een uniek en beschermd gipslandschap dat als zodanig dan ook beschermd wordt. De weg van Sorbas naar het gehucht los Mo-

linos de Rio Aguas en verderop Nijar slingert erdoorheen.

Pliocene zandbanken

Het Pliocen van het Sorbas Bekken is vooral aanwezig in de vorm van vooral grindige en conglomeratische rivierafzettingen. Marien Pliocen is wel goed ontwikkeld in de beide andere bekkens. Omdat de bekkens langzamerhand opgeheven werden zien we een veronddiepende trend in dit Pliocen, van fossielrijke zandige mergels (dieper shelfmilieu) naar ondiep-mariene, grindrijke afzettingen. Rond Vera en Cuevas de Almanzora zijn deze fossielrijke vroeg Pliocene afzettingen her en der ontsloten. De naam Cuevas wijst op de vroeger veel voorkomende troglodytische woningen (uitgehoud in

de mergel) in het dal van de rivier Almanzora. Het jongste mariene Pliocen is hier in de vorm van grindige fan-delta afzettingen, bijvoorbeeld aan de westkant van Vera ontsloten.

Persoonlijk reken ik de Pliocene ontsluitingen in het dal van de Alias-rivier in het noordoostelijke Nijar Bekken, een kilometer ten zuidwesten van El Argamason, tot de mooiste. Collega Cristino Dabrio heeft de situatie daar uitgeplozen en zijn onderzoek wijst uit dat het hier een nogal plaatselijk voorkomen van grote zandbanken in het Vroeg-Pliocen betreft. Net ten noorden van dit punt snijdt de Alias door een kleine, goed ontsloten anticline in vooral Boven-Messinien en een kap met Pliocen. Aan de zuidkant zijn de zandbanken te zien als grote scheve gelaagdheden, ontstaan door migrerende zandbanken (afb. 17). Om zandbanken te laten ontstaan en migreren, zoals ook in de Noordzee, heb je flinke getijdestromingen nodig, maar die zijn in de bijna afgesloten Middellandse Zee van geen betekenis. Dabrio legt hun aanwezigheid uit als gevolg van de aanwezigheid van een lokale ondiepte (het begin van de plooiing ter plaatse) waardoor periodiek optredende stormen sterke stromingen genererden: watermassa's die hetzij vanuit het Nijar Bekken richting open zee gestuwd werden dan wel andersom. Je kunt er zowel langs als over de mooie scheve gelaagdheden lopen en als je dat doet let dan ook op de aanwezigheid van

grote kreeftengraafgangen. Overigens is het mariene Pliocéen dat tussen de dorpjes Gafares en El Argamason rijkelijk in de heuvels aanwezig is behoorlijk fossielrijk. Naast op schelpen en microfossielen kun je af en toe op een haaiantand of een stukje zeekeobot stuiten.

El Hoyazo vulkaan, Nijar

Net ten oosten van Nijar bevindt zich een beroemd solitair vulkaantje. Tegenwoordig is het vooral bekend onder mensen die graag granaatjes verzamelen en bij mineralogen als de typelokaliteit van het blauwige mineraal cordieriet. Dit vulkaantje is al vermeld door de Romein Plinius de Oude vanwege die aanwezigheid van granaat. Het bijzondere van de Hoyazo is dat het na zijn vorming (gedateerd op 6,3 miljoen jaar) werd omringd

gesteente, waaronder granaat-glimmerschist. Dateringen aan zirkoonkristallen in wijzen op zowel het omhoog komen van gesteenten uit het diepe basement (ouderdommen tussen 2,8 en 1 miljard jaar) als ook een eruptieouderdom van 6,3 miljoen jaar, een ouderdom die overeenkomt met de afzetting van de Abad-mergels in de bekkens (mondellinge mededeling H. Zeck). De vroegere Amsterdamse geoloog Hubert Zeck deed aan deze vulkaan in de jaren '60 van de vorige eeuw zijn promotieonderzoek (promotie in 1968). Ruim tien jaar geleden ontmoette ik hem in Nijar. Hubert bleek vanuit Denemarken, waar hij aan de universiteit als petroloog was verbonden, aanvullende studies te doen naar vulkaanlichamen en hun ouderdommen in de regio. Een persoonlijke rondleiding in deze Hoyazo-vulkaan was uiteraard heel bijzonder. De echte liefhebbers verwijs ik naar een gedegen Spaans overzichtsartikel, dat bij de toeristeninformatie van Nijar te vinden is (Leal Echevarra en Fidalgo Alonso, 2008).



Afb. 18. Het door erosie uitgeholde en cirkelvormige vulkaanlichaam van de Hoyazo. De foto is genomen vanaf de noordelijke rifrand. De kijkrichting is naar het zuidoosten, waar naar de horizon allereerst de kassen van de Campo de Nijar te zien zijn en vervolgens de heuvelrij die de Carboneras Breuk (strike-slip) markeert, met daarachter de hogere rand van het Cabo de Gata-massief. De opwelling rechts achterin de Hoyazo is een restant van de kraterpijp, waarin bij ijverig zoeken en hameren nog steeds het mineraal cordieriet te vinden is. De ingang tot de Hoyazo is het scherpe dal links achter de meer centraal gelegen heuvel, restant van een tweede pijp.

door een Laat-Messinien franjerif. Dit rifcomplex is grotendeels gedolomitiseerd, maar wie vanaf de snelweg afslaat naar Nijar kan ter hoogte van het zwembad aan de rand van het dorp de rif-clinofomies goed zien. De eigenlijke rifcomplexen zijn daar echter grotendeels afgeërodeerd, maar aan de noordrand van de krater zijn wel degelijk *Porites*-resten en daarop liggende bolvormige algenlaminaties en zandige afzettingen van het nog jongere Messinien te vinden. De voorplaat geeft een blik op Nijar en een afzetting uit het Boven-Mioceen. Het vulkaanlichaam zelf is nu door sterke erosie van de vrij zachte granaathoudende daciet uitgehold (afb. 18) en overall waar water heeft gestroomd liggen slierten bijgespoelde granaten. De meesten zijn niet erg fraai, maar er zijn nog altijd gave exemplaren te vinden. Vroeger ging het vooral om het vinden van de edele exemplaren, maar in de vorige eeuw zijn de granaten industrieel geëxploiteerd als grondstof voor schuurpapier en zijn de mooie en grote exemplaren schaars. Het vulkaanlichaam bestaat feitelijk uit het restant van een kraterpijp (deze is nog deels te zien als een centraal gelegen heuveltje) plus uitgeworpen blokken en as. Deze waren tijdens de eruptie zeer heet en rolden de helling af en explodeerden. Je ziet geen vulkanische bommen, maar verkitte hoekige brokken. Ook kwamen uit de diepte brokken mee van het omringende

Sierra del Cabo de Gata

Het meest zuidoostelijke stukje Spanje, met kaap Cabo de Gata als meest prominente rotspuntje, is een mini-vulkanische provincie van ruwweg 10 bij 40 km. Klein, maar toch het grootste vulkaanpark van Spanje. Het woord 'gata' suggereert dat deze kaap naar een kat is genoemd, maar het woord is een verkorting van 'agaat'. Er zijn hier vooral in vroeger tijden agaten aangetroffen. De sinistral verschuivende Carboneras-breuk (ook wel Serrata-breuk genoemd) scheidt deze sierra van het aangrenzende Nijar Bekken, dat daar volgebouwd is met tuinbouwkassen. Gelukkig is een groot deel van het Cabo de Gata-gebied inmiddels tot natuurgebied en Europees Geopark verheven. Door de kale begroeiing (gemiddeld valt er minder dan 200 mm regen per jaar) en de vaak rode verweringsaarde heeft het gebied een heel eigen karakter. De kust is bovendien op veel plaatsen aantrekkelijk (achterplaat, afb. 19).

Het vulkanisme in het Cabo de Gata-gebied was van het calc-alkaline type, dat wil zeggen dat er een hogere concentratie van calcium (CaO) in relatie tot alkalische elementen (Na₂O/K₂O) in het magma aanwezig was. Het gaat om andesitische gesteenten, waarbij pyroxeenrijke andesieten en vooral dacieten het meest voorkomend zijn. Er zijn twee periodes van vulkanisme geweest. Het eerste vulkanisme deed zich voor tussen 15 en 10 miljoen jaar geleden en de tweede fase was ongeveer 9 – 7,5 Ma geleden (tijdens het Tortonien). Het meeste vulkanisme vond op de zeebodem of dicht bij de zeespiegel plaats. Vooral op en tussen de vulkaantjes is het tot afzetting van mariene sedimenten gekomen. Af en toe waren er Stromboli-type uitbarstingen. Ook pyroklastische afzettingen komen voor. De meest bijzondere zijn ignimbritische (=gloedwolk) erupties, die ook de calderarand van Rodalquilar hebben gevormd. De Rodalquilar-caldera is een ovale, nog deels in het terrein zichtbare, 4 bij 8 km grote instortingsstructuur. De opvulling ervan bestaat uit twee pyroklastische eenheden, elk het gevolg van een uiterst explosieve eruptie, gevolgd door instorting met calderavorming. Ignimbrietten zijn daarbij uitgestroomd naar zowel het noorden, richting Las Negras, als het zuiden, waar ze een groot deel van het La Rellana-plateau vormen. In tweede instantie intrudeerden andesietkoepels. Dit veroorzaakte in-



Afb. 19. Playa del Monsul heeft klifwanden die gevormd worden door submariene uitgestoten vulkanische breccies. Zo'n zogenaamde hyaloklastische breccie ontstaat bij het snelle, explosieve afkoelen van hete lava onder water. De Monsul-voorkomens zijn gekoppeld aan kleine eruptiepunten die vlak achter het strand te vinden zijn. De breccie bestaat uit hoekige brokken van andesitische samenstelling, gemengd met een lichtgrijze tot witte matrix van as en lapilli-fragmenten (glasschilfers, pyroxeen en plagioklaas). Zie ook de overzichtfoto van het strand op de achterplaat.

tensieve hydrothermale omzetting van de vulkanieten, waarbij goudhoudende alunieten gevormd werden. Deze zijn een tijdlang vooral in dagbouw ontgonnen. Het goud van Rodalquilar wordt niet meer geëxploiteerd, maar in 1964 werd er nog 700 kg goud geproduceerd, waarvoor maar liefst 50.000 m³ gesteente werd afgegraven. Vanuit Rodalquilar is het voormalige winningsterrein te bezoeken. In een klein museum op het terrein en bij de overgebleven installaties wordt uitleg gegeven. Omdat het vulkanisme in zee plaatsvond, zijn hier en daar mariene afzettingen te zien die op en tussen de vulkaanlichamen zijn afgezet. Ook hier komen de franjeriffen uit het Messinien voor. Vooral rond het kustplaatsje Agua Amarga is zoveel Neogeen aanwezig dat het als een afzonderlijk Agua Amarga Bekken wordt onderscheiden. Een van de leukste plekken om de iets diepere mariene afzettingen te zien is El Playazo, terwijl de kust bij Playa del Monsul (achterplaat, afb. 19) ook zeer bijzonder is door recente duinvorming en kliffen met vulkanische breccies.

Onder auspiciën van het gouvernement van Andalusië is een geologische gids voor Cabo de Gata-Níjar Geopark verschenen, dat via internet te downloaden is (Villalobos Megia, 2007). Wie meer aandacht aan dit interessante en fraaie gebied wil besteden - van vulkanisme en ertswinning tot duinvorming - kan daar terecht.

Alle foto's werden door de schrijver gemaakt. Bevriende collega prof. Cristino Dabrio (Madrid) leverde de kleurplaten voor afb. 6 en 8, waarvoor dank.

Literatuur

- Biermann, C., 2007. De Betische Cordilleren van Zuid-Spanje. *Gea*, jaargang 2007 nr. 3, p. 78-81. Als pdf te downloaden via de link: <http://natuurtijdschriften.nl/record/415439>
- W. Krijgsman & A.R. Fortuin, 2007. Zout en gips in het Middellandse Zeebekken: De saliniteitscrisis van het Messinien (Mioceen). *Gea*, jaargang 2007 nr. 3, p. 70-77. Als pdf te downloaden via de link: <http://natuurtijdschriften.nl/record/415438>
- Fortuin, A.R. and Dabrio, C.J., 2008. Evidence for Late Messinian seismites, Níjar Basin, south-east Spain. *Sedimentology*, 55: 1595-1622.
- Kleverlaan, K., 1987. Gordo Megabed: A possible seismite in a Tortonian submarine fan, Tabernas Basin, Province Almería, Southeast Spain. *Sedimentary Geology*, 51: 165-180.
- Krijgsman, W. en Fortuin, A.R., 2007. De saliniteitscrisis van het Messinien (Mioceen): zout en gips in het Middellandse Zeebekken. *Gea*, 40 (3): 70-77.
- Leal Echevarra, G. en Fidalgo Alonso, J.M., 2008. El Hoyazo de Níjar. *Axarquía, Revista del Levante Almeriense*, 13: 65-88.
- Martín-Suárez, E., Freudenthal, M., Krijgsman, W. and Fortuin, A.R., 2000. On the age of the continental deposits of the Zorerras Member (Sorbas Basin, SE Spain). *Geobios*, 33: 505-512.
- Mather, A.E., Martin, J.M., Harvey, A.M., Braga, J.C. (eds.), 2001. *A Field Guide to the Neogene Sedimentary Basins of the Almería Province, South-East Spain*. IAS Field Guide, Blackwell Science, p. 200-211.
- Meijninger, B.M.L., 2006. Late-orogenic extension and strike-slip deformation in the Neogene of southeastern Spain. PhD thesis, *Geologica Ultrajectina* 269, 179 p.
- Montenat, C., Ott D'estevou, P., 1996. Late Neogene basins evolving in the Eastern Betic transcurrent fault zone: an illustrated review. In: Friend, P.F., Dabrio, C.J. (Edit.) *Tertiary Basins of Spain: The stratigraphic record of crustal kinematics*. Cambridge University Press, *World and Regional Geology Series* 6: 372-386.
- Platt, J., Behr, W.M., Johannesen, K. and Williams, J.R., 2013. The Betic-Rif Arc and its orogenic hinterland: a review. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 41: 313-357.
- Villalobos Megia, M. (editor) 2007. *Geology of the Arid Zone of Almería, SE Spain – an educational field guide*. N.B. Als pdf-bestand te downloaden via de Junta de Andalucía, bijv. via <https://www.yumpu.com/en/document/view/3033862/of-cabo-de-gata-junta-de-andalucia> of google op "Geology of the Arid Zone of Almería, Southeast Spain, an educational guide" en "Junta de Andalucía".
- Roep, T.B., Dabrio, C.J., Fortuin, A.R., Polo, M.D., 1998. Late highstand patterns of shifting and stepping coastal barriers and washover-fans (late-Messinian, Sorbas Basin, SE Spain). *Sedimentary Geology*, 116: 27-56.

Bij de voorplaat:

Een winterfoto van het vriendelijke Andalusische stadje Níjar aan de zuidooststrand van Sierra Alhamilla. Hogerop ligt het dorpje Huebro, dat het zo belangrijke water levert. Op de voorgrond mariene Torton-mergels (Boven-Mioceen) met zandige tot grindige tussenlagen, afgezet vanuit troebelingsstromen. Voordat het grind in de laag achter het verkeersbord werd afgezet, zorgde een turbulente onderstroom voor het uitschuren van een geultje, dat vervolgens werd opgevuld.

Bij de achterplaat:

Het strand van Monsul wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van kliffen van submariene uitgestoten, vulkanische agglomeraten (breccies), die gekoppeld zijn aan kleine eruptiepunten, die vlak achter het strand te zien zijn. De breccie bestaat uit hoekige brokken van andesitische samenstelling, ingebed in een lichtgrijze tot witte matrix van as en lapilli-fragmenten (glasschilfers, pyroxeen en plagioklaas).