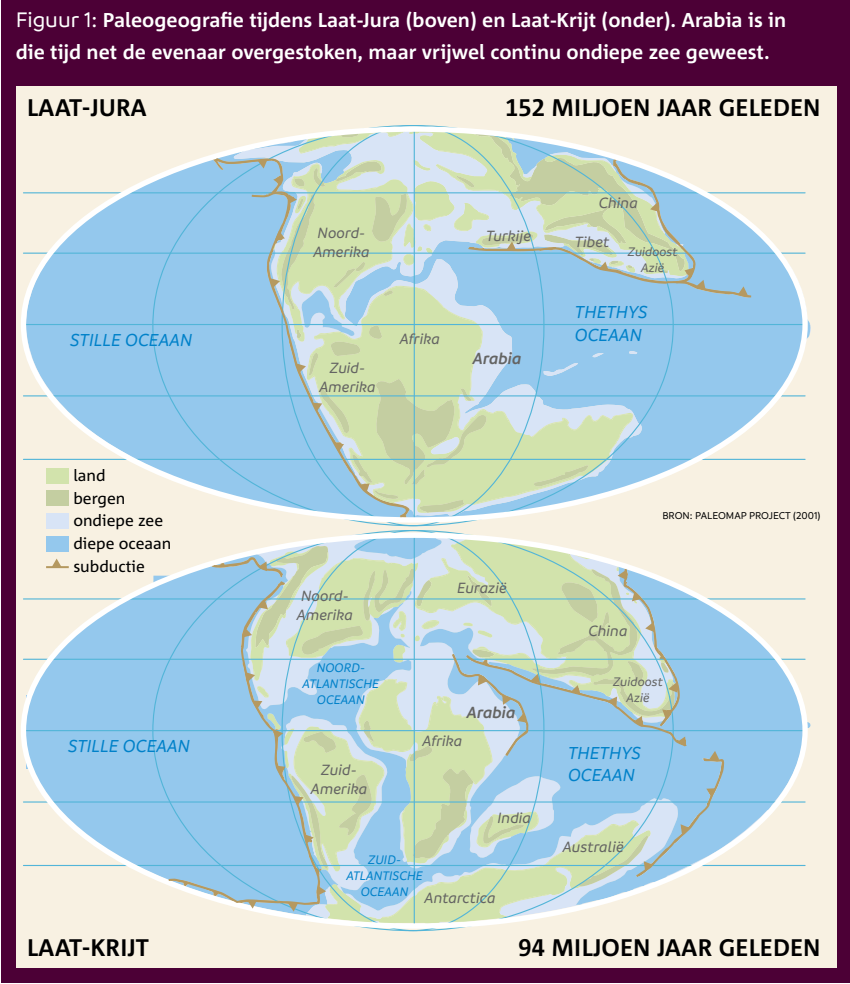


Straat van Hormuz en de Perzische Golf

In de Golfregio botsen landen en systemen, geopolitiek én aardwetenschappelijk. Het Midden-Oosten herbergt grote voorraden olie en aardgas, waarvan een flink deel van de wereld afhankelijk is. En zowel die rijke voorraden als de nauwe Straat van Hormuz zijn de uitkomst van een continentale botsing die al tientallen miljoenen jaren duurt.



Tussen Afrika en Arabia en Eurazië lag gedurende het Mesozoïcum de Tethys Oceaan, die bij de Alpiene botsing vrijwel helemaal verdween. Alleen tussen Kreta en Noord-Afrika en ten oosten van de Straat van Hormuz bleven stukjes subductiezone en oceanische lithosfeer van die oude oceaan over. De rest is de diepte in getrokken (gesubduceerd), waardoor de continentale blokken India, Afrika en Arabia noordwaarts bewogen en in botsing kwamen met Eurazië.

Tektonisch stil gebied

Ruim 100 miljoen jaar lang vormde Arabia een passieve continentrand: de grens tussen continentale korst en oceanische korst, tektonisch stil gebied. Net als bij de oostkust van Zuid-Amerika en de westkust van Afrika: ooit actief uit elkaar getrokken tot de Mid-Atlantische Rug ontstond. Vanaf dat moment zijn het passieve continentranden. Ook in absolute zin was het rustig en lag Arabia stil op vrijwel dezelfde plek rond de evenaar in tropische wateren (zie figuur 1). Tijdens de Jura- en zeker de Krijt-periode was de aarde een enorme broeikas. Nergens een ijskap en meer CO₂ in de atmosfeer dan we ons nu kunnen voorstellen. Continentranden liepen grotendeels onder water. En al helemaal waar weinig topografie aanwezig was, bijvoorbeeld bij een passieve continentrand. Zo ontstond er bij Arabia een enorm gebied met ondiep en warm zeewater. Zee-organismen tierden daar welig. Jaar na jaar was er een flinke productie van organisch materiaal, dat op de zeebodem belandde samen met klei. Eeuw na eeuw vormden ze dikke pakketten mariene sedimenten. In drogere perioden verdampten delen van de ondiepe zeeën tot zoutvlaktes, liepen weer vol, vielen weer droog. De wind voerde zand aan dat duinen vormde. In koelere en nattere tijden zorgde erosie voor de aanvoer van zanden en kleien. En die processen wisselden elkaar af, heel wat keren. Steeds meer sediment stapelde zich op. Onder het gewicht daarvan daalde de bodem, wat weer ruimte opleverde voor een volgende laag sediment. Organisch rijke lagen kwamen zo diep te liggen, dat door de oplopende druk en temperatuur de complexe organische koolwaterstofverbindingen (combinaties van de elementen C/koolstof en H/waterstof) van het zeeleven in steeds kleinere stukjes opbraken. Zo ontstond aardolie (octaan, C₈H₁₈, of butaan, C₄H₁₀) en uiteindelijk aardgas

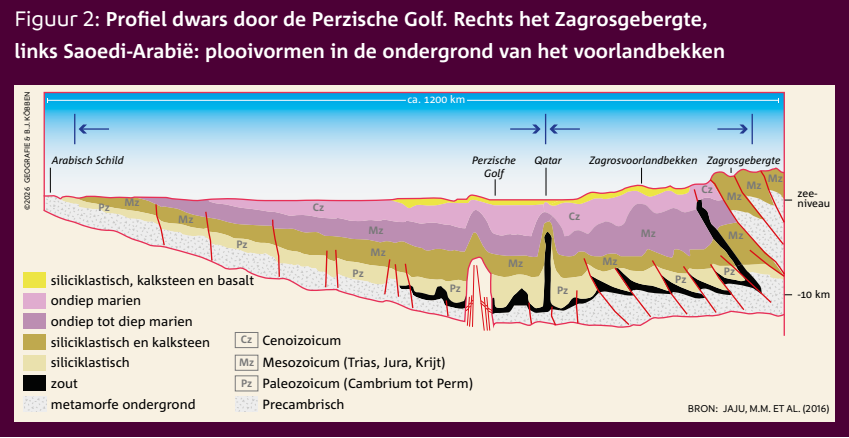
(methaan, CH₄) en steenkool (C). Door het lage soortelijke gewicht zochten die een weg omhoog.

Groningen in veelvoud

In de ondergrond van Groningen was de geologische opeenvolging (afzetting van moedergesteente, reservoir erboven, dan een structuur en een afdekkend laag (zie *Geografie* 2026-01) gunstig om één groot, iets gefragmenteerd gasreservoir te creëren. Zo simpel ligt het in de Golfregio niet. In dit grote gebied zijn in de enorme opeenvolging van sedimenten op meerdere niveaus moedergesteente (koolstofrijke kleien of mergels), reservoirs (poreuze zandstenen en hier vooral kalkstenen), afdekkende lagen (evaporieten: zouten en gips) en structuren aanwezig. Sedimenten uit het Vroeg-Perm stammen uit de tijd van de Paleo-Tethysoceaan, een voorouder van de Tethys Oceaan. De ondergrond van Arabia werd toen uit elkaar getrokken, werd dunner en daardoor daalde het oppervlak. Dat resulteerde in een flink riftbekken vol sedimenten, met een zeer koolstofrijke laag schalie onderin. Vooral de sedimenten uit Jura en Krijt zijn erg rijk aan mariene organismen, die olie opleveren (uit plantenresten ontstaat vooral gas). Deze kalkstenen zijn afgezet in ondiep water met golflaag. In dat bewegende water zat te veel energie om klei tot rust te laten komen. De kalksteen bestaat uit veel stukjes fossielen en zandkorrels, met daartussen ruimte. Daarmee ontstaat een kalksteen die van zichzelf al poreus is. De poriën zijn door oplossing (karst) en dolomitatie alleen nog maar groter geworden. Bij dolomitatie wordt kalksteen omgezet in dolomiet. Dolomietkristallen (CaMg(CO₃)₂) nemen iets minder ruimte in dan calciet (CaCO₃). En uiteindelijk heeft plaattektoniek nog geleid tot scheuren in het gesteente. Zo kunnen ook kalkstenen een prima reservoir vormen. Er zijn in de Golfregio dus meerdere opeenvolgingen en structuren waarin olie en gas konden ontstaan, migreren naar een reservoir en gevangen worden in structuren en ondoordringbare gesteentelagen. Na deze uitgebreide en afwisselende opeenvolging begon het volgende stadium dat nodig was voor de huidige rijke voorraad olie en gas. En voor de vorming van de Golfregio zoals we die nu kennen.

Vorming Golfregio

Door het sluiten van de Tethys Oceaan naderde Arabia Eurazië steeds meer. Ongeveer 30 miljoen jaar geleden kwamen de continentale delen elkaar tegen en werd het continentale deel van de Arabische plaat onder de Euraziatische plaat meegesleurd. Bij deze botsing is de aardkorst geplooid en ontstond het Zagrosgebergte, een lange bergketen van Turkije tot Pakistan. Onder het gewicht van dit gebergte buigt de lithosfeer van Arabia door (flexuur). Hierdoor ontstaat een flinke kuil ten zuiden van het gebergte, een voorlandbekken. Zo'n bekken ligt aanvankelijk meestal onder zeeniveau, omdat er een



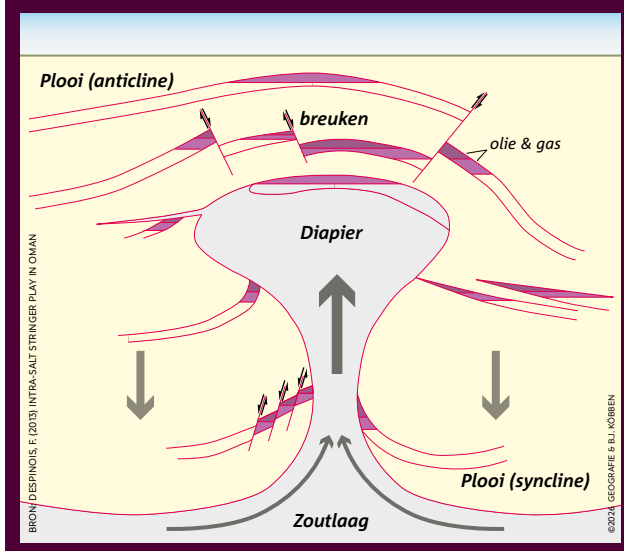
passieve plaatrand nadert die onder de andere plaat wordt getrokken. De lange, smalle en weinig diepe Perzische Golf is een voorbeeld van dit mariene begin. In grote delen is de Golf 20-40 meter diep. Pas voorbij de Straat van Hormuz, waar nog oceanische lithosfeer aanwezig is, wordt het dieper dan 60 m. Bij doorgaande botsing groeit het gebergte in de hoogte en verandert ook het voorlandbekken. Het bekken kan overvol raken met sedimenten en verder in elkaar gedrukt worden tot boven zeeniveau. Dat stadium heeft de Golfregio nog niet bereikt. Er is niet veel materiaal nodig om de ondiepe Golf te vullen en de Eufraat en de Tigris voeren wel sediment aan, maar door de droogte in de regio is dat niet veel. Het Zagrosgebergte breekt ook nog niet zo hard af. Het hoogste punt (4409 m) is de top Qash-Mastan in het Iraanse Dena-massief. Aardbevingen wijzen erop dat de Arabische en Euraziatische platen elkaar nog steeds naderen. Met ongeveer 20 mm per jaar (figuur 3), blijkt uit gps-waarnemingen. Een deel van die horizontale beweging vertaalt zich in het dikker worden van de korst, de hoogte in. De botsing creëerde de 1600 km lange Zagrosplooiorgordel (bergketen), met duidelijk zichtbare plooien in lange, ononderbroken ruggen. Aan de rand van het voorlandbekken is dat minder goed te zien; toch zijn in de diepte de lagen daar ook geplooid. Daarmee ontstonden al die vormen (plooien, breuken, hoekverschillen tussen lagen gesteente) waarin olie

Figuur 4: Olie- en gasvoorraden rond de Perzische Golf



wel moedervlekken. Een tot kilometers dikke laag paleozoïsch zout (Hormuz-Ara salt) diep in de ondergrond heeft hier het oppervlak bereikt en stroomt als ‘zoutgletsjers’ naar buiten en de hellingen af. Pakketten zout in de ondergrond zijn instabiel. En daarmee bedoel ik niet dat ze kunnen oplossen, want zo makkelijk gaat dat niet op grote diepte. Zout heeft een lagere dichtheid (ongeveer 2,2 kg per dm³, zeg maar een literpak) dan andere sedimentaire gesteenten (2,5-2,6 kg per liter). Het verschil is minder groot dan bij olie of gas, maar toch wil het omhoog. Zout gedraagt zich op geologische tijdschaal vloeibaar en komt in grote druppels of paddenstoelachtige vormen (diapieren) omhoog. Daarbij ‘zuigt’ dit aan de basis van die diapieren zout aan. In de omgeving daalt de bodem juist (*if something is coming up, something has to go down*). Net als in Groningen kan dat zout vloeistoffen en gassen onder zich gevangen houden (figuur 5). De aanwezigheid van zoutlagen in de ondergrond heeft dus ook bijgedragen aan de voorraden in de Perzische Golf.

Figuur 5: Structuren rond een diapier waarin olie- en gasvoorraden terecht zijn gekomen



en gas gevangen raakte op de weg omhoog (figuur 2-4). De Perzische Golf is volledig anders dan de Rode Zee en de Golf van Aden. Terwijl Arabia en Afrika naar het noorden bewegen, gaat Arabia iets sneller. Bij de Rode Zee splitst Arabia zich af. De continentale korst is onder de Rode Zee al zover uitgerekt dat die is opgebroken en er nieuwe oceanische lithosfeer aanwezig is. Anders dan het ondiepe plasje in de Golf is de Rode Zee daarmee veel dieper: tot wel 1800 m. Een flink verschil tussen beide tektonische regio's.

Zoutgletsjers

Op een aantal plekken aan beide kanten van de Golf is nog een extra element zichtbaar dat heeft bijgedragen aan de vorming van structuren in de ondergrond: zout. Op satellietbeelden zijn in Iran aan de noordwestkant van de Straat van Hormuz talloze grote donkere vormen zichtbaar, het lijken

Musandam-schiereiland

Het Zagrosgebergte loopt helemaal door van Turkije naar Pakistan. Dus dan buigt Arabia overal op een gelijke manier door, toch? Nou nee: de Perzische Golf is maximaal 340 km breed, maar versmalt sterk tot 55 km bij de Straat van Hormuz. Hier steekt het Musandam-schiereiland (noordelijke delen van Oman en de Verenigde Arabische Emiraten) ver de Golf in. Dit uitstekende deel bestaat uit de Semail Ofioliet, een enorm stuk oceaانبodem van de Tethys Oceaan dat niet gesubduceerd is, maar óp het continent Arabia werd geduwd toen de oude oceaan tussen de Arabische en Euraziatische platen sloot: het is geobduceerd. Het Musandam-schiereiland is het grootste en meest complete stuk oeaankorst (5 tot 8 km dik) en zelfs 15 km bovenmantel ter wereld dat gewoon op land te bestuderen valt. Met kussenlava's die laten zien dat ze onder water zijn uitgevloeid, gabbro (de intrusieve variant van basalt) en allerlei parallelle vulkanische structuren die door de hele opeenvolging gaan. Zelfs de overgang van korst naar mantel, de Moho, kun je hier aanschouwen – die staat bij veel geologen hoog op de *bucketlist*. Een groot deel van ons inzicht over de opbouw van de oceanische lithosfeer is gebaseerd op dit wonderlijke stuk geologie.

De flinke plak hard gesteente van het Musandam-schiereiland ligt opvallend haaks op het Zagrosgebergte en heeft duidelijk invloed gehad op de plooi-oriëntatie en richting van de Zagrosbergkam (figuur 3). De noord-zuidgerichte punt scheidt de volledige continent-continent-botsing en de Zagropslooi die naar het noordwesten lopen, van het laatste beetje oceaan-continent-subductie ten zuiden van Pakistan. Als de platen elkaar met de huidige snelheid blijven naderen, is er over een paar miljoen jaar helemaal geen straat van Hormuz meer om door te varen. Als er dan überhaupt nog een Perzische Golf is. •