

Dorset and East-Devon World Heritage Coast

'A walk through time'

Deel 2: Boven-Jura tot en met Krijt. Landschapsvormen van de kust

door Marcel van Schoor
m.vanschoor@hetnet.nl

In het eerste artikel over de 'Jurassic Coast' (Gea juni 2014) heb ik over het westelijk deel van deze kustlijn geschreven: de kust van Dorset en oostelijk Devon. Hierin heb ik een aantal locaties beschreven waar gesteenten uit het Perm tot en met de Boven-Jura te zien zijn. Vanaf Devon in oostelijke richting reizend, hebben we dankzij de naar het oosten gekantelde ligging van de gesteenten een mooie ontdekkingsstocht door de geologische geschiedenis kunnen maken. De eerder beschreven reis bracht ons naar het klif bij Osmington Mills, waar de zand-, silt- en kleistenen van de 'Corallian Group' uit het bovenste deel van de Jura-periode te zien zijn.

In dit tweede artikel vervolgen we onze reis langs de kust en door de tijd. We zullen de laatste formaties uit de Jura bespreken en de gesteenten uit het Krijt de revue laten passeren. Opnieuw bewijst de grote afwisseling in de gesteentesamenstelling dat het gebied tijdens het laatste deel van het Mesozoïcum grote veranderingen heeft ondergaan.

We zullen eindigen op de meest oostelijke punt van het 'World Heritage' gebied, bij de krijtkliffen en de 'Old Harry Rocks' op de kaap bij Studland. Deze kaap met zijn prachtige rotsnaalden vormt de perfecte locatie om aandacht te besteden aan een ander aspect van de 'Jurassic Coast'. In eerste instantie hebben we vooral de gesteenten besproken die in de kliffen te zien zijn. Maar zij zijn niet de enige reden waarom een bezoek aan deze

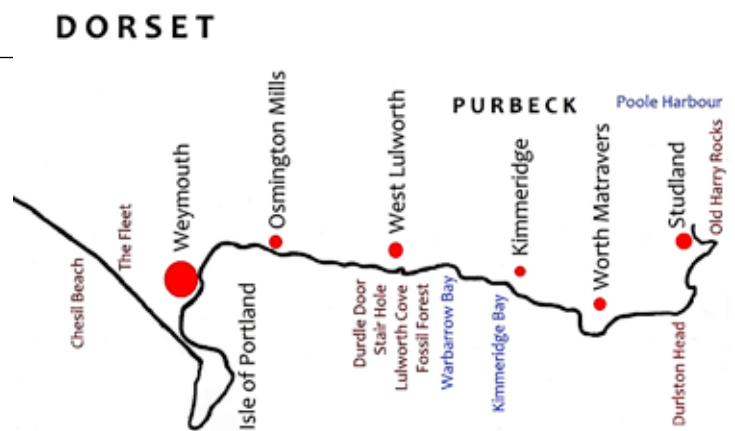


Fig. 1.

kust zo'n aangename tijdsbesteding is. Het is er ook bijzonder mooi. Het kustlandschap is afwisselend en kent een grote hoeveelheid vormen met een interessante vormingsgeschiedenis. Deze vormenrijkdom heeft een innige relatie met de geologie en veel van de vormingsprocessen zijn nog bijzonder actief. Zo actief dat in uitzonderlijke gevallen en bij onoplettendheid een bezoek aan het strand gevaarlijk kan zijn.

De levenloze bodem van de Kimmeridge-zee

Na de 'Corallian Group' is de zee weer helemaal terug. Maar de omstandigheden die in deze zee heersen zijn anders dan in voorgaande situaties. Het gesteente dat zich op de bodem van deze zee heeft afgezet, wordt gerekend tot de 'Kimmeridge Clay Formation'. Het bestaat uit vrijwel ongelaagde kleistenen met een wisselend kalkgehalte en fijn gelamineerde schalies die rijk zijn aan organisch materiaal (afb. 1). Het hele gesteentepakket heeft een maximale dikte van 460 meter. Op grote diepte hebben gedurende lange periodes zuurstofloze condities geheerst, zodat leven in of op de zeebodem onmogelijk was. In deze tijden werd de bodem niet doorgraven en de organische resten van afgestorven leven gingen niet verloren. Het gehalte aan organisch materiaal kan zo hoog zijn dat dit gesteente hier als olieschalie is gevormd en in het verleden is gewonnen. Dezelfde formatie is in het Noordzeegebied één van de beste oliemoedergesteentes.

Afb. 1. De Kimmeridge Clay Formation in Kimmeridge Bay met een 'ledge' die als laag in het klif te vervolgen is. Foto: Ian West.



Afb. 2. Ammonieten uit de Kimmeridge Clay Formation, Kimmeridge Bay. Foto: Jim Champion.

De zuurstofloze omstandigheden in het onderste deel van de waterkolom werden waarschijnlijk veroorzaakt door het ontbreken van watercirculatie. De Kimmeridge-zee lag in een uitgestrekt gebied van min of meer geïsoleerde zeebekkens en eilanden tussen een nog smalle, zich openende Centrale Atlantische Oceaan in het westen en de Tethys Oceaan in het zuidoosten. Het water was waarschijnlijk verdeeld in lagen van verschillende temperatuur, wat een goede menging blokkeerde. Doordat het water onderin niet ververs werd, raakte de zuurstof in deze waterlaag uitgeput. Deze voor het zeeleven ongunstige situatie werd nog versterkt door de hoge watertemperatuur en de hierdoor verminderde oplosbaarheid van zuurstof en een verhoogde productie van organisch materiaal. De gestage toevoer van dit organisch materiaal naar de bodem van de zee zorgde ervoor dat hier alle zuurstof werd opgebruikt.

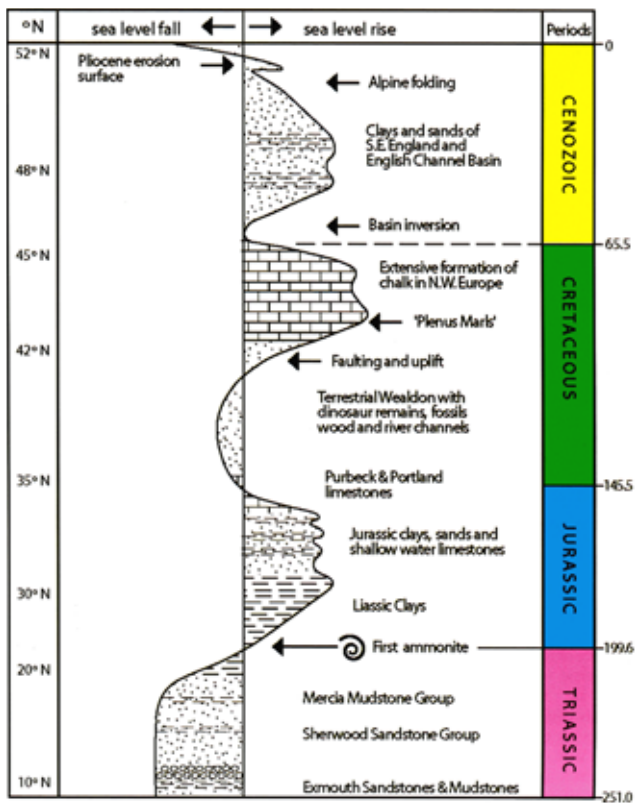


Fig. 2. De afzettingmilieus in verband met de zeespiegeldaling en -rijzing door de geologische tijden heen (M. Hart, 2009).

Tussen de schalies en kleistenen bevinden zich witte lagen van fijnkorrelige kalksteen. Deze worden beschouwd als de neerslag van kalkplaatjes van afgestorven kalkalgen die na periodes van grote algenbloei naar de zeebodem zonken. Daarnaast bevat het pakket verschillende dolomietlagen. Deze zouden na sedimentatie als gevolg van chemische veranderingen in het gesteente zijn gevormd (diagenese). Er zijn ook niveaus te vinden die wel rijk aan schelpen zijn. Vermoedelijk waren de condities op en in de zeebodem tijdelijk gunstiger en was er voldoende zuurstof beschikbaar om leven mogelijk te maken. Ondanks - of juist dankzij - de voor veel levensvormen vijandige situatie in de diepere delen van deze zee, zijn er vele prachtige fossielen in dit gesteente gevonden, grotendeels afkomstig van dieren die niet in of op de zeebodem leefden. Bekend zijn de mooie platte afdrukken van ammonieten (afb. 2) en de botten van gewervelde dieren die in zee zwommen, zoals haaien, roggen, beenvissen en mariene reptielen (krokodillen en pliosauriërs, de ichthyosauriërs waren al uitgestorven), of vliegende reptielen zoals de pterosauriërs, of zelfs van dieren die het aangrenzende land bevolkten, zoals dinosauriërs (zoals *Dacentrurus sp.*).

Om dit gesteente te kunnen bewonderen is de baai bij Kimmeridge het meest geschikt om te bezoeken. De 'Kimmeridge Clay Formation' is hier te zien in de steile zwarte kliffen. Dit is de typelocatie waar de chronostratigrafische eenheid van het Kimmeridgien gedefinieerd is. Vóór de kliffen ligt een uitgestrekt en ondiep plateau waarover meerdere richels - 'ledges' - vanaf het klif tot ver in zee doorlopen. Dit zijn de harde dolomietlagen die ook in het klif te vervolgen zijn. Op een 'ledge' gezeten kan het klif rustig overzien worden. Bovendien is het ook een goede plek om de blik naar beneden te richten. Dit keer niet om fossielen te zoeken, maar om het leven van rotsige kusten te observeren.

Naar het einde van de Jura-zee

De overgang naar de volgende formatie verloopt geleidelijk en de zachte gesteenten die deze overgang markeren zijn slecht ontsloten. Het is een overgang van siltige en zandige kleistenen naar kleihoudende silt- en zandstenen. Een scherpe, duidelijk herkenbare grens is er niet te trekken. Dit is het gevolg van een zeer geleidelijke verandering in het sedimentatiemilieu die samenhangt met het ondieper worden van de zee. De zandige gesteenten behoren tot de 'Portland Sand Formation', onderdeel van de 'Portland Group', die zijn naam ontleent aan het 'Isle of Portland'. De 'Group' omvat naast de oudere 'Portland Sand Formation' ook de jongere 'Portland Stone Formation'. De hele opeenvolging 'Kimmeridge Clay Formation' - 'Portland Group' - 'Purbeck Group' vormt één van de grotere sedimentatiecycli van de Jura en laat een regressie van de zee zien. De gesteenteopeenvolging die hierbij hoort is kleisteen/schalie - zandsteen -



Afb. 3. Portland Group met de Portland Stone in het klif van Portland. Foto: Mark Wilson.

kalksteen. Het is de kenmerkende opeenvolging die tijdens een regressie in de Jura-periode in dit gebied werd afgezet. Tijdens deze sedimentatiecyclus had het verdwijnen van de zee niet alleen met het zakken van de zeespiegel te maken. Er was ook sprake van een langzame opvulling van het zeebekken. De zandstenen van de 'Portland Sand Formation' worden naar boven steeds fossielrijker zodat het kalkgehalte van de zandsteen toeneemt. Een belangrijk deel van de kalk is na afzetting in dolomiet omgezet. Als nog verder naar boven de lagen uit zuivere kalk met vuursteen bestaan, is de grens met de 'Portland Stone Formation' gepasseerd.

Kliffen en kathedralen van kalkbolletjes

De 'Portland Stone Formation' (afb. 3) speelt om meerdere redenen een belangrijke rol in het gebied van de 'Jurassic Coast'. Het zijn de dikke kalksteenbanken uit het bovenste deel van deze formatie die op een aantal plaatsen langs de kust het stevige bastion tegen de eroderende krachten van de zee vormen en eventueel erachter gelegen zachte lagen beschermen. De kliffen van 'Portland Stone' zijn steil, zeker op plaatsen waar het gesteente zelf ook rechtop staat zoals bij Durdle Door en Lulworth Cove. Ligt de 'Portland Stone' meer horizontaal en ligt er onder de formatie tot aan het zeeniveau nog een zachter gesteente, zoals het lagere deel van de 'Portland Sand' of de 'Kimmeridge Clay', dan breken na ondermijnen van het klif stukken van de 'Portland Stone' af. Deze vallen of rollen naar beneden en komen onderaan het klif terecht. Na verloop van tijd ontstaat hierdoor een barrière van gesteenteblokken die verdere erosie van het klif sterk remt.

Een tweede belangrijke functie van de 'Portland Stone' is het gebruik als bouwsteen. De 'Portland Stone Formation' bevat twee niveaus die daarvoor bijzonder geschikt zijn. Het gaat om 2 tot 3 meter dikke massieve banken van compacte oölitische kalksteen, die vol zit met kleine, concentrisch gelaagde kalkbolletjes: de oölieden, en schelpgruis. De massieve fijnkorrelige steen is relatief eenvoudig te bewerken en heeft goede duurzame eigenschappen. Dankzij het ontbreken van een interne gelaagdheid en de aanwezigheid van diaklazen loodrecht daarop, kunnen uit de twee niveaus mooie grote blokken gebroken worden.



Afb. 5. *Titanites giganteus* uit de Portland Stone. Foto: Hamish Hudson.



Afb. 6. Verlaten Portland Stone groeve, Portland. Bron: Flickr.com.



Afb. 4. Ondergrondse winning van de Portland Stone in de Albion Stone Quarrie, Portland. Foto: Agata Gomolka.

Groevelandschap

De Romeinen waren de eersten die de winning van de 'Portland Stone' op een wat grotere schaal aanpakten. Hoewel ook gesteentelagen uit andere formaties geëxploiteerd worden, is de 'Portland Stone' verreweg de bekendste uit het gebied. Vooral na het gebruik van de steen in de herbouw van de St. Paul's Cathedral, na de grote brand van Londen in 1666, steeg de vraag naar de steen enorm en veranderde het eiland van Portland in

één groot groevelandschap. Veel van de groeves lagen in het klif aan de zuid- en oostkant van het eiland en veel verder oostelijk tussen St. Aldhelm's Head en Durlston Head. Het gewonnen materiaal kon zo relatief eenvoudig via schepen over zee worden afgevoerd. Pas nadat in de 20^e eeuw het transport over land belangrijker werd, werden groeves in het binnenland geopend. Op het 'Isle of Portland' zijn twee groeves die nog steeds in gebruik zijn, waarbij de steen ook ondergronds gewonnen wordt (afb. 4). Moderne toepassingen liggen vooral op het vlak van de restauratie.

Een laatste eigenschap die de 'Portland Stone' grote bekendheid heeft gegeven is de enorme rijkdom aan fossielen. De ondiepe en warme zee waarin de kalksteen werd afgezet was druk bevolkt. Eén van die bewoners was de reuzenammoniet *Titanites giganteus* (afb. 5). Deze kon grote afmetingen bereiken en is nog wel eens als ornamentering in bijvoorbeeld tuinmuurtjes toegepast. Sommige niveaus zitten vol met graafsporen van o.a. kreeftachtigen. Veel van de schalen en schelpen zijn opgelost zodat de fossielen alleen als afdruk te vinden zijn. Daarnaast helpen de eigenschappen die sommige niveaus zo geschikt maken als bouwsteen (hard en compact) niet bepaald bij het uithakken van eventuele vondsten. Het ligt voor de hand de gesteenten van de 'Portland Group' op het 'Isle of Portland' te gaan bekijken. Het schiereiland heeft mooie kliffen met prachtige uitzichten over zee. Interessant zijn de oude groeves, die een combinatie van geologie, sporen van de vroegere steenwinning en een bijzondere flora en fauna te bieden hebben (afb. 6).



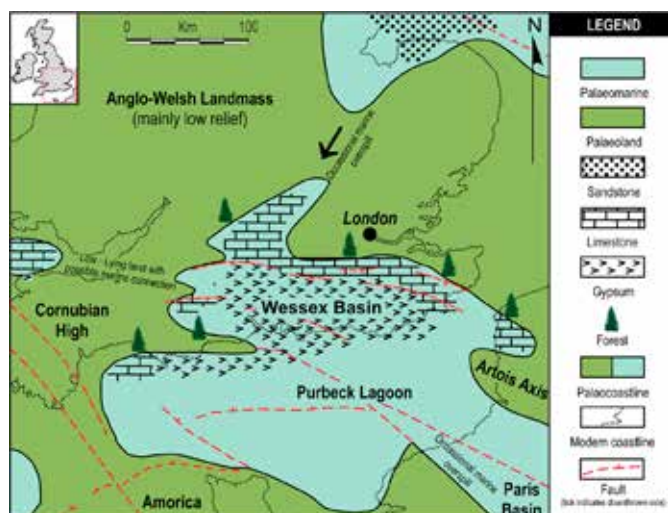
Afb. 7. Gelaagdheid in de Purbeck Group in het klif van Dancing Ledge ten zuidwesten van Swanage. Foto: Jamie Codd.

Een andere locatie waar de 'Portland Group' goed te bestuderen is, ligt een stukje ten oosten van Kimmeridge. Het zijn de kliffen in de omgeving van Worth Matravers en ten oosten van Durlston Head in Purbeck, zoals bij Winspit en Seacombe. Het onderste deel van de 'Portland Stone Formation' bij Winspit bevat veel vuursteen. Daarboven bevindt zich het niveau met de oude groeves. In de kalkgraslanden bovenop het klif bloeit in het voorjaar en vroege zomer een prachtige verzameling van wilde bloemen.

Op de grens van land en zee

Inmiddels zijn we vrijwel tegen het einde van de Jura-periode aanbeland. Het ondieper worden van de zee, zoals viel waar te nemen in de gesteenten van de 'Portland Group', zet zich door. De volgende gesteenteserie van de 'Purbeck Group' laat dit duidelijk zien. Uiteindelijk zal het gebied in het Vroeg-Krijt gedurende lange tijd land zijn.

Maar voor het zover is, vond er een soort van kat- en muispel tussen land en zee plaats. De gesteenten van de 'Purbeck Group' (afb. 7) werden afgezet in een verscheidenheid aan sedimentaire milieus die op de grens van land en zee te vinden zijn (afb. 8). Kleine bodembewegingen of veranderingen in de zeespiegel en aanvoer van sediment kunnen in een dergelijke situatie al een grote invloed op het sedimentaire milieu hebben.



Afb. 8. Het Wessex Basin ten tijde van de Late Jura. Bron: David Stuart et al., 2014.

Het leverde een opeenvolging van lagen op die bestaan uit een afwisseling van kalksteen, mergel, klei en kleisteen, soms met evaporieten als gips en anhydriet. Het zijn sedimenten die afgezet werden in een ondiepe zee en in een kustvlakte met lagunes, kustmoerassen en (zout-) meren. Meerdere malen viel het gebied droog en werden er bodems gevormd.

Deze afwisseling in de samenstelling van de gesteenten van de 'Purbeck Group' is goed te zien; de harde en zachte lagen geven het verweringsprofiel een duidelijk reliëf. Het onderscheid met de 'Portland Group' is hierdoor makkelijk te maken, maar waar ligt de grens precies? Volgens de officiële definitie ligt de ondergrens onder de eerste fijn gelamineerde en ostracodenrijke kalksteenlaag die volgt op de meer massieve en schelphoudende kalksteenlagen van de 'Portland Group'. Ostracoden (mosselkreeftjes) zijn microscopische kreeftachtigen met een tweekleppige schelp en zijn vaak goede indicatoren van het paleomilieu. Veel van de huidige ostracodensoorten zijn bestand tegen brak water, hoge zoutwaardes of wisselende zoutgehaltes. Dit zijn omstandigheden die zich bijvoorbeeld voordoen in lagunes met een slechte verbinding met de open zee. Zo'n lagune wordt dan bevolkt door grote aantallen van enkele dominante soorten en dat

is precies wat fossiel in sommige lagen van de 'Purbeck Group' wordt aangetroffen.

In de gesteenten van de 'Purbeck Group' ligt nog een belangrijke grens verscholen. Dit is de grens tussen de Jura- en de Krijt-periodes. Internationaal is deze grens nog niet officieel vastgelegd. Bovendien ontbreken in de Purbeck-gesteenten van de 'Jurassic Coast' de ammonieten van de open zee uit de Tethys (Zuid-Europa) en de boreale ammonieten van noordelijk Europa die in deze gebieden gebruikt worden om de grens vast te leggen. Er is een zekere consensus om de grens laag in de 'Purbeck Group' te plaatsen, zodat het grootste deel ervan de ouderdom Krijt heeft en daarmee jonger is dan 145 miljoen jaar.



Afb. 9. De naar het noorden hellende gesteenten van de Purbeck Group in het oostelijke deel van de Lulworth Cove. Foto: Adam Morse.

Geologische schatkamer

De 'Purbeck Group' herbergt een ware schatkamer aan geologische verschijnselen. Er zijn een aantal plaatsen waar de gesteenten goed bestudeerd kunnen worden. Een *must* is een bezoek aan Lulworth Cove (afb. 9), Stair Hole, de Fossil Forest en Bacon Hole. Verder zijn de Purbeck-gesteenten te zien bovenop de 'Portland Stone' in een deel van de kliffen en groeves van het schiereiland van Portland en helemaal in het oosten bij Peveril



Afb. 10. Het Fossil Forest bovenop het steile klif van de Portland Stone ten oosten van de Lulworth Cove. Bron: Flickr.com.

Point, ten zuiden van Swanage. De overgang van de 'Portland' naar de 'Purbeck' is goed ontsloten in de kleine Pondfield Cove in het klif ten oosten van Worbarrow Tout.



Afb. 13. De Stair Hole bij Lulworth Cove met de afwisseling van harde en zachte lagen van de Purbeck Group in de 'Lulworth Crumple'-plooi. Foto: Martijn van de Streek.



Afb. 11 A. De stromatolieten van het Fossil Forest: een 'donut'. Foto: Peter Edwards.



11 B. 'Langwerpige donuts'.

om en over de stronken van afgestorven en in sommige gevallen ook omgevallen boomstammen (de langwerpige 'donuts') groeiden. Van het hout is niets over maar aan de binnenzijde van de stromatolietringen zijn soms nog afdrukken van de bast te zien. De bomen waren coniferen (o.a. Araucaria's en Cipressen) die groeiden in de buurt van de zee langs een lagune. Nadat het bos door de zee overspoeld werd, stierven de bomen af en in het warme

Vanaf de grote parkeerplaats bij Lulworth Cove is de 'Fossil Forest' aan de andere kant van de 'Cove' wandelend te bereiken. De 'Fossil Forest' ligt op een smalle terrasachtige insprong boven een steil klif van 'Portland Stone' (afb. 10). Wat opvalt zijn de grote 'donut'-vormen die op deze klifrede liggen (afb. 11). Zij bestaan uit dunne golvende laagjes van kalk die door kolonies van blauwgroene algen zijn afgescheiden. Dit zijn geen echte algen maar cyanobacteriën die tot fotosynthese in staat zijn. De ronde 'donut'-vorm danken deze constructies aan het feit dat ze

en zilte water werden de restanten langzaam begraven onder dikke maten van de omhoog groeiende cyanobacteriën. Geen bos zonder bodem en inderdaad zijn er ook fossiele bodems te vinden. Zij worden 'Dirt Beds' genoemd en één ervan, een donkere laag met kalkknollen, ligt direct onder de laag met de stromatolieten.

In het landwaarts gelegen deel van het klif boven het 'Fossil Forest' is een ander intrigerend verschijnsel te zien. Het zijn de zogenaamde 'Broken Beds'; een kalkbreccie die hier ongeveer vier meter dik is (afb. 12). Voor dit verschijnsel van een in vele stukken gebroken kalksteen met een wat chaotische ligging, bestaan meerdere verklaringen. Vrijwel zeker heeft de vorming te maken met de aanwezigheid van evaporieten in het onderste deel van dit niveau. Na oplossen van de evaporieten zou de bovenliggende kalksteen in de holtes gestort zijn. Het lijkt er echter op dat de brokstukken van kalksteen niet veel verplaatst zijn. Mogelijk hadden zich inderdaad door oplossing (kleine) holtes gevormd maar heeft het in stukken breken in een later stadium tijdens de plooiing van het gesteentepakket plaatsgevonden.



Afb. 12. De 'Broken Beds': een kalksteenbreccie in een niveau boven de stromatolieten. Foto: Ewen Foster.

Een stukje oostelijker ligt Bacon Hole. Het uitzicht naar het oosten is bijzonder mooi met zicht op de Mupe Rocks van harde 'Portland Stone', Mupe Bay en Worbarrow Bay. Deze laatste baai wordt aan de landzijde door witte kalkstenen van de 'Chalk' afgesloten. Aan de overzijde van Worbarrow Bay komen de gesteenten van de 'Portland' en 'Purbeck' weer tevoorschijn in het klif van Worbarrow Tout, de rotspunt die in de kijkrichting naar het westen wijst. Vanaf deze punt worden de gesteenten naar links steeds jonger – ze hellen hier duidelijk noordwaarts – en zijn (van rechts naar links, afb. 20) de

resterende formaties van het Onder- en Boven-Krijt te zien: de 'Wealden', 'Lower Greensand', 'Gault', 'Upper Greensand' en 'Chalk'. In Bacon Hole zelf kan een groot deel van de 'Purbeck Group' bekeken worden. Terug bij Lulworth Cove moet men niet nalaten de ernaast gelegen Stair Hole te bezichtigen. Over de eroderende kracht van de zee en de uitwerking daarvan op het kustlandschap van de 'Jurassic Coast' volgt later meer. Nu gaat het om de gesteenten van de 'Purbeck Group' die met hun afwisseling van harde en zachte lagen zo mooi de plooi vorm in de oostzijde van de Stair Hole uitlijnen (afb. 13).

In de 'Purbeck'-tijd lag de 'Jurassic Coast' in de subtropen op de grens van land en zee aan één van de zeeën die de verbinding vormde tussen het westelijke deel van de Tethys Oceaan en de jonge noordelijke Atlantische Oceaan. Deze omstandigheden maakten dat het gebied bevolkt werd door een rijke fauna. De dalende bodem en voortdurende sedimentaanvoer vergrootte de fossilisatiekans van elk individu uit deze fauna. Het is dan ook niet verwonderlijk dat de gesteenten van de 'Purbeck Group' een rijke oogst aan fossielen opgeleverd hebben. De overblijfselen van zoogdieren nemen een speciale plaats in. Zij geven een beeld van hun vroege evolutie in het begin van de Krijt-periode ongeveer 140 miljoen jaar geleden. Maar dit was nog niet het tijdperk van de zoogdieren, wel van de dinosauriërs. En ook zij voelden zich thuis in dit moerassige laagland. Hun voetafdrukken (van zowel voor- als achterpoten) zijn op veel plaatsen als indrukken in het laagvlak terug te zien. Specifieke soorten noemen is bij pootafdrukken meestal nogal moeilijk. De indrukken met drie tenen kunnen zowel van Theropoda als van Ornithopoda zijn en zijn Iguanodon-achtig. Eén spoor lijkt het meest duidelijk gemaakt door een Iguanodon.

Een zoet intermezzo in de 'Wealden'

Ongeveer 70 miljoen jaar duurde de heerschappij van de zee over het 'Wessex Basin', het bekken waarin de sedimenten van de 'Jurassic Coast' werden afgezet. De gesteenten van de 'Purbeck Group' lieten al zien dat de zee aan zijn terugtocht begonnen was. Er brak een periode van 20 miljoen jaar aan waarin gesteenten op land afgezet werden. De overgang van de kalkhoudende en kleiige gesteenten van de 'Purbeck Group' naar de zandige en kleiige gesteenten van de 'Wealden Group' van het Onder-Krijt gaat geleidelijk. Maar de gesteenten van de 'Wealden' zijn niet in ondiepe lagunes, overstromde kustmoerassen of zoutmeren gevormd. Deze afzettingen zijn het product van rivieren en meren. Het klimaat was duidelijk vochtiger en de sedimentatie was drastisch veranderd. Dit is het beeld dat voor grote delen van Europa gold. Het krachtenspel in de Noordwest-Europese aardplaat veranderde. Terwijl de noordelijke Atlantische oceaan zich versterkt opende, kwamen verschillende gebieden in Europa omhoog. De erosieproducten



Afb. 14. De veelkleurige door rivieren afgezette zanden en kleien van de Wealden Group in het klif van Worbarrow Bay. Bron: Flickr.com.



Afb. 15. Worbarrow Bay met de afzettingen van de Wealden Group. De kleuren laten de afwisseling van de lagen zien die onder een hellingshoek in het klif liggen. Op de achtergrond de Purbeck Hills, een heuvelrug van Chalk. Bron: Flickr.com.

van de hogere delen werden door rivieren in bekkens afgezet. Regelmatig stroomden zij met voldoende kracht om grover grind mee te nemen (afb. 14). In Europa bevatten de gesteenten van de 'Wealden' vaak koollagen die getuigen zijn van een nat-ter klimaat en rijke vegetatie. Op lagen met plantafdrukken na is dit in het 'Wessex Basin' niet het geval. Het was een landschap met bewoners. De vondsten zijn spaarzaam maar fossielen van reptielen en dinosauriërs en hun sporen zijn op verschillende plaatsen aangetroffen.

Vanaf onze laatste locatie hadden we de gesteenten van de 'Wealden Group' al in het vizier. In het oostelijk deel van Worbarrow Bay geven de sedimenten de warme kleuren aan het klif (afb. 15). In de baai van Lulworth Cove zijn dezelfde gesteenten aan beide zijden aanwezig, maar niet goed ontsloten (afb. 25). De formatie is hier een stuk dunner en heeft een vrijwel rechtop staande hellingshoek. Naar het oosten neemt de dikte van de formatie toe, tot wel 700 meter onder Swanage, en de hellingshoek af. Hierdoor vormt het klif in Worbarrow Bay een lange diagonale doorsnede door dit gesteentepakket. Voor wie na al die mariene sedimenten van de Jura even aan 'land' wil gaan is dit een mooie plek om te bezoeken. Ook hier kan verzameld worden; het gaat om aanwijzingen die laten zien in wat voor omgeving dit gesteente gevormd is. Belangrijke boodschappers zijn de sedimentaire structuren; zij bevatten interessante aanwijzingen. Er zijn lagen van grof zand die de eronder gelegen lagen doorsnijden. Het snijvlak is de bodem van een voormalige riviergeul die in een later stadium weer is opgevuld met het grove zand. Vaak zijn in dit zand mooie voorbeelden van decimeter- tot meterhoge sets van scheve gelaagdheid te zien. Het zijn structuren die bij hoge stroomsnelheden horen. Een ander deel bestaat uit dunne zand- en siltlagen waarin een kleinschalige vorm van scheve gelaagdheid aanwezig is, afgewisseld met kleilagen. Deze patronen worden gezien als een gevolg van het herhaald overstromen van rivierlaktes, afgezet in rustig stromend of stilstaand water. Er zijn ook dikkere zandlagen die plantenmateriaal o.a. in de vorm van ligniet bevatten. In dit geval is de overstroming vermoedelijk ingrijpend geweest. Het is leuk spoorwerk, dat tegelijk uitnodigt tot nadenken over de processen die in de wereld van het Onder-Krijt het landschap op deze plek vorm gaven.

Opmaat naar een marien hoogtepunt

De Krijt-periode is de langste van de geologische periodes gerekend vanaf het Cambrium. Deze periode kenmerkt zich door een warm klimaat, een wereldwijd voortdurend stijgende zeespiegel vanaf halverwege het

Onder-Krijt en tektonische onrust wereldwijd. Hieronder valt het versneld openen van de Atlantische Oceaan, het verdwijnen van een groot deel van de Tethys en van een deel van de Pacificische Oceaan, het uiteenvallen van Gondwana en het begin van de Alpiene gebergtevorming.

De plantenwereld werd verrijkt door de opkomst van de bloemplanten, op de voet gevolgd door een grote diversiteit aan insecten die het luchtruim met vliegende reptielen en vogels deelden. Bij de dinosaurïers ontstonden vele soorten van plantenetters. De zee raakte bevolkt met een grote verscheidenheid aan schelpdieren, kreeftachtigen, vissen, mariene reptielen - waaronder grote rovers als de *Mosasaurus* - en, belangrijk als gesteentevormers in het Laat-Krijt, microplankton.

De laatste gesteenteserie die we tijdens ons 'bezoek' aan de 'Jurassic Coast' zullen gaan zien, bevat dit indrukwekkende deel van de aardgeschiedenis. Want al deze veranderingen zijn niet ongemerkt aan het 'Wessex Basin' voorbijgegaan. De eerste belangrijke gebeurtenis was de bodembeweging vanaf halverwege het Onder-Krijt. Door bewegingen langs breuken kandelde de ondergrond en kreeg deze een helling naar het oosten. Erosie verwijderde in westelijke richting steeds oudere lagen. De doorgaande stijging van de zeespiegel die vervolgens plaatsvond, zorgde ervoor dat het gebied van de 'Jurassic Coast' steeds verder onder water verdween. De zee rukte op en iedere



Afb. 16. Het klif van Ringstead Bay ten oosten van Osmington Mills waarin een aantal geologische gebeurtenissen samenkomen. Links onderin het klif het terugtrekken van de zee in de Boven-Jura met de opeenvolging van Kimmeridge Clay (lichtgrijze lijnen) – Portland Sand – Portland Stone (gele lijn). Dit pakket is vervolgens scheef gesteld en in het Onder-Krijt geërodeerd tot een vlak landoppervlak (witte streep). Vanaf het einde van het Onder-Krijt kwam de zee terug en verdrook het land. Op deze plek werden Gault – Greensand en ten slotte als hoogtepunt de Chalk afgezet (lichtblauwe lijn). In het Mioceen is het geheel opnieuw gekanteld.

volgende gesteentelaag werd verder (landinwaarts) dan zijn voorganger afgezet. Dit verschijnsel wordt 'onlap' genoemd (zie afb. 3 t/m 5 in deel 1, p. 45, Gea 2014, nr. 2). Deze 'onlap' van de transgressieve gesteenteserie van het Onder- en Boven-Krijt is goed te zien in het westelijke deel van de 'Jurassic Coast' tussen Seatown en Sidmouth. Hier liggen in de hogere delen van het klif de gesteenten van het Boven-Krijt direct op Onder-Jura (Golden Cap bij Seatown) tot Trias (High Peak en Peak Hill bij Sidmouth). Het hiaat wordt naar het westen toe steeds groter. Dit betekent dat er tot maximaal een slordige 100 miljoen jaar in de gesteente-opeenvolging kan ontbreken. Tussen Seatown en Axmouth is de 'Gault' de eerste transgressieve formatie die op de oudere ondergrond werd afgezet, naar het westen is het de jongere 'Upper Greensand' die direct op deze ondergrond ligt (zie afb. 9 in deel 1, p. 48, Gea 2014, nr. 2). De oudste formatie van de transgressieve serie, de 'Lower Greensand' is alleen ten oosten van Lulworth Cove aanwezig. Bij 'White Nothe', ten oosten van Ringstead, zijn al deze verschijnselen bijzonder mooi te aanschouwen (afb. 16). De 'oude ondergrond' bestaat hier uit 'Kimmeridge Clay' met daarop de gesteenten van

de 'Portland Group' ('Portland Sand' en 'Portland Stone'; allemaal Boven-Jura). Deze gesteenten zijn beïnvloed door de hiervoor genoemde bewegingen langs breuken en als blokken gekanteld (de lagen hellen nu naar het noorden). Vervolgens heeft de erosie deze gekantelde lagen vlak afgeslepen, waarna op de grens van Onder- en Boven-Krijt de zee kwam en de 'Gault' tot en met de 'Chalk' werden afgezet. Misschien is de sedimentatie nog verder doorgegaan, maar deze gesteenten zijn op deze plek niet (meer) aanwezig. Omdat deze jongere gesteenteserie naar het zuidoosten helt, moeten er in een later stadium opnieuw bewegingen hebben plaatsgevonden. Draaien we de bovenste serie in gedachten terug naar een horizontale positie, dan zien we dat de 'Kimmeridge Clay' en 'Portland Group' nog sterker naar het noordwesten hellen.

Klei en groen zand

De transgressieve serie van het Krijt van de 'Jurassic Coast' is hierboven deels al even genoemd. Het gaat om (van oud naar jong) de 'Lower Greensand Group', de 'Gault Clay Formation', de 'Upper Greensand Formation' en de 'Chalk Group'. Met de 'Lower Greensand Group' neemt de transgressie ongeveer 125 miljoen jaar geleden een aanvang. De sedimenten die in deze vanuit oost naar west oprukkende zee afgezet werden, zijn zanden, silten en kleien. De zee komt nog niet ver. Het meest westelijke voorkomen van de 'Lower Greensand' is in Mupe Bay, ten oosten van Lulworth Cove. Hier bevindt zich een dunne ijzerrijke laag met fossielen. Naar het oosten neemt de dikte van de formatie langzaam toe. Over het algemeen is de 'Lower Greensand' door aardverschuivingen en vegetatie slecht ontsloten.

De groene kleur wordt veroorzaakt door het mineraal glauconiet, dat tot de glimmergroep behoort maar ook vaak als kleimineraal geduid wordt. Het mineraal komt alleen in mariene afzettingen voor. Omdat het ijzer bevat, zal na verloop van tijd door oxidatie van het ijzer de groene kleur verdwijnen. Veel okerkleurige 'groenzanden' maken hun naam dan ook niet altijd waar. De volgende formatie is de 'Gault Clay Formation'. De zee waarin deze formatie is afgezet kwam nu veel verder en alle oudere gesteenten uit de Jura werden helemaal bedekt. Door de transgressie is de 'Gault' diachroon: het jongste deel van de 'Gault' werd in het westen tegelijk met het oudere deel van de 'Upper Greensand Formation' in het oosten afgezet. In de kleien zijn schelpen en ammonieten te vinden.

De 'Upper Greensand Formation' bestaat weer uit glauconiethoudende kwartzanden. De zanden zijn sterk bioturbaat: er waren veel gravende dieren actief in het zeebodemsediment. Hierdoor is er weinig van een eventuele gelaagdheid bewaard gebleven. Toch zijn er maar weinig fossielen te vinden. In de



Afb. 17. Upper Greensand Formation in de baai van Lulworth Cove. Foto: Diane Earl.



Afb. 18. Chalk met vuursteenlagen in Worbarrow Bay. Bron: ukriversguidebook.co.uk.

poreuze zanden zijn veel van de aragonitische schalen en schelpen opgelost. Om de 'Upper Greensand Formation' te kunnen bekijken zouden we, met dank aan de transgressie, weer naar het westen kunnen rijden. In het klif tussen Lyme Regis en Axmouth en tussen Beer en Sidmouth is de 'Upper Greensand' duidelijk in het klif te zien. Maar een bezoek aan Lulworth Cove geeft ook een aardig beeld. Hier valt de groene band die dit gesteente markeert direct op (afb. 17).

Krijt: 'from so small a beginning...'

Het wordt hoog tijd om kennis te maken met de jongste groep van gesteenten uit onze geologische tijdreis langs de 'Jurassic Coast': de 'Chalk Group'. Het 'Krijt' is misschien wel de bekendste gesteenteformatie uit de hele geologische geschiedenis. Met de boot op weg naar Engeland zijn het de witte krijtrotsen die bij menigeen een onvergetelijke eerste indruk achterlaten. Dit opvallende gesteente dat op veel plaatsen in Europa te zien is, werd al in 1822 als een aparte gesteentelaag onderscheiden en benoemd.

De transgressie, die aan het einde van het Onder-Krijt was ingezet, beleefde zijn hoogtepunt tegen het einde van het Boven-Krijt. De wateren van de Tethys breidden hun invloed tot in Noordwest-Europa uit en de sedimentatie in het 'Wessex Basin' veranderde ingrijpend. De zee bereikte een maximale diepte van 250 meter. Op de bodem van deze continentale zee vormde zich een kalksteen die is opgebouwd uit een miljoenen jaren aanhoudende regen van microscopisch kleine kalkschijfjes: de coccolieten. Deze schijfjes met hun schotelvorm omhulden een planktonische, ééncellige alg. Met ontelbaren leverden zij een uniek zogenaamd pelagisch sediment op, dat in de continentale zeeën van de huidige wereld nergens wordt gevormd.

De ondergrens van de 'Chalk' is vrij scherp en hangt samen met een hiaat: een periode van onderbroken sedimentatie. Het onderste deel van de 'Chalk' is nog relatief kleirijk. Het bovenste deel bestaat uit een zeer zuivere kalksteen (meer dan 95% calciumcarbonaat) waarin wel verschillende dunne kleilaagjes voorkomen. Sommige hiervan zijn gedetermineerd als afkomstig van vulkanische as. Met de vuursteen is het ongeveer andersom. Het onderste deel bevat weinig of geen vuursteen, daarboven bevinden zich vele vuursteenhorizonten (afb.18). De silica, waar de vuursteen uit bestaat, is in graafgangen in het nog verse sediment neergeslagen. De zachte kalkmodder liet niet veel bodemleven toe, maar met grote regelmaat ontstonden 'hard grounds' die het fundament vormden voor een rijke bodemfauna.

Er zijn een aantal plaatsen waar de 'Chalk' bekeken kan worden. Een bijzonder voorkomen ligt ter hoogte van Beer Head, zuidelijk van Beer. De 'Chalk' bevindt zich hier tot op het strandniveau. Vanaf Beer buigt de kust naar het oosten en het klif

oostelijk van Beer heeft een rode kleur. Het zijn de gesteenten van de 'Mercia Mudstone' uit de Trias-periode. Deze situatie hangt samen met de aanwezigheid van een breuk direct ten oosten van Beer. Het blok ten westen van de breuk is gezakt waardoor de 'Chalk' op dezelfde hoogte als de veel oudere 'Mercia Mudstone' is komen te liggen en zodoende voor erosie gevrijwaard bleef. Dit stuk klif vormt het meest westelijke voorkomen van de 'Chalk' van het Engelse vasteland. Verder naar het westen is de 'Chalk' vanwege zijn hogere ligging later in de geologische geschiedenis weer door erosie verdwenen. Lulworth Cove en omgeving vormt ook voor de 'Chalk' een goed uitgangspunt. De witte kalksteen sluit de baai aan de achterzijde af en de grens met de onderliggende 'Upper Greensand' is een stukje links van de toegang naar de baai te zien (afb. 17 en 25). Deze grens is erosief met fosforietknollen in de onderste zandige kalklaag van de 'Chalk'. De opeenvolging boven deze grens is nogal gereduceerd en verstoord door schuifbewegingen die in het Tertiair hebben plaatsgevonden. Wie meer 'Chalk' wil zien, loopt vanaf Lulworth Cove naar het westen. Ter hoogte van Durdle Door is het mogelijk het strand op te gaan. Vanaf dit punt naar het westen rijst de klifwand

verticaal omhoog. De bovenkant heeft een golvend verloop doordat het klif een aantal 'hangende' droogdalen aansnijdt. Ook de kalksteenlagen in het klif staan ongeveer verticaal. Eén kilometer ten westen van Durdle Door ligt Bat's Head, een in zee stekende kaap met een gat erin (afb. 19). Hier is de verticale stand van de gelaagdheid goed te zien.



Afb. 19. De kaap van Bat's Head met Bat's Hole en een kleine rotsnaald. De Chalk-formatie staat verticaal. Bron: Panoramio.com.

Een laatste mooie 'Chalk'-locatie ligt bij Studland, helemaal in het oosten van de 'Jurassic Coast'. Het gaat dan vooral om het uitzicht van boven op de spectaculair gevormde kliffen. Doordat een strand vrijwel ontbreekt kan het klif niet vanaf dit niveau benaderd worden.

We hebben nu een reis van 185 miljoen jaar afgelegd. Voor wat betreft de vormingsgeschiedenis van de gesteenten in de kliffen van de 'Jurassic Coast' komt hiermee een einde aan de reis. Het laatste stukje van de Krijt-periode, het Maastrichtien (vanaf 72 miljoen jaar geleden), is hier niet in een (bewaard gebleven) gesteente gedocumenteerd. De grote invloed van zeespiegelbewegingen op de sedimentatie wordt duidelijk door de gesteenteserie uit de Trias-, Jura- en Krijtperiodes van de 'Jurassic Coast' geïllustreerd. Meerdere trans- en regressieve cycli kunnen, zoals we gezien hebben, hierin herkend worden. Fig. 2. Ook de tijd na de Krijt-periode heeft hier zijn sporen nagelaten

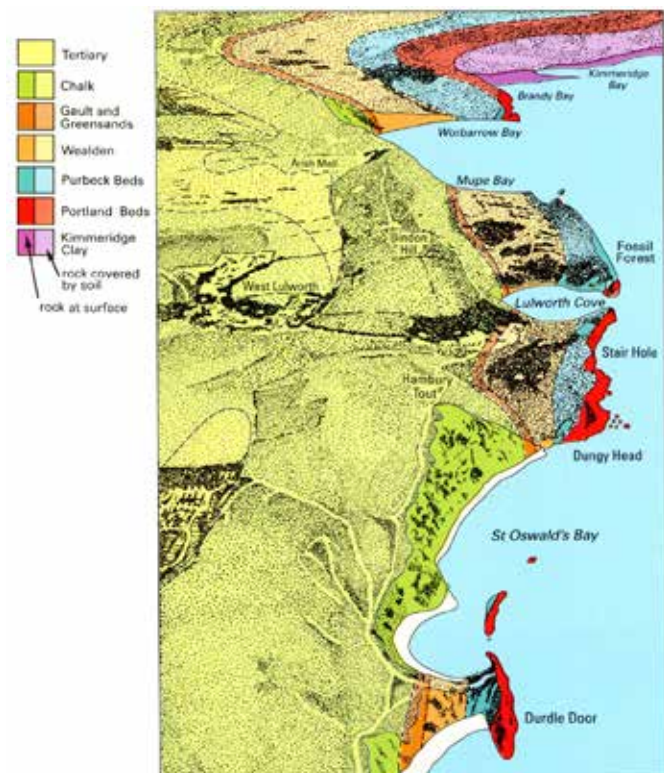
en een tweetal aspecten uit die geschiedenis zal ik nog kort beschrijven.

Jurassic Mountains

Van grote invloed op de ligging en de structurele eigenschappen van de gesteenten van de 'Jurassic Coast' is een periode van plooiing geweest die heeft plaatsgevonden tijdens het Mioceen. Op sommige plaatsen, zoals in de Stair Hole bij Lulworth Cove, lijken deze structuren rechtstreeks afkomstig uit een gebergte als de Alpen. En inderdaad is er een verband, want ze zijn het gevolg van de botsing van Afrika met Europa, waarbij de Tethys zich definitief sloot en de Alpen ontstonden. Tot op vele honderden kilometers van de 'brandhaard' waren de krachten nog groot genoeg om het gesteente in grote, open plooiën te leggen. Oude breuken in de diepere ondergrond werden opnieuw actief (gereactiveerd). Op de plaatsen waar de Mesozoïsche gesteenten boven deze breuken liggen, is de verbuiging van de lagen veel sterker. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de noordflank van de 'Purbeck Monocline' (bij een monocline heeft één van de flanken een steile laaghelling en is de laaghelling in de andere flank vrijwel horizontaal). De zuidflank ligt ter plekke van de zeebodem voor de kust van Purbeck en heeft een zeer geringe hellingshoek. Het schiereiland van Portland ligt ook op dit deel van de 'Monocline'. Hierdoor ligt de 'Portland Stone' in de richting van de zuidelijke punt van het eiland steeds lager in het landschap. De noordflank loopt parallel aan de kust en is te vervolgen van White Nothe bij Ringstead tot aan Ballard Down bij Studland.



Afb. 21. Een foto van een deel van de omgeving uit afb. 20 met rechts midden Durdle Door. Foto: Saffron Blaze.



Afb. 20. De geologie van de kust van Purbeck van Durdle Door tot en met Worbarrow Bay. De gesteenten in dit stuk kust zijn onderdeel van de steilstaande flank van de Purbeck Monocline. Naar het oosten (bovenkant afbeelding) worden de formaties uit het Onder-Krijt dikker en hellen ze minder steil. Bron: British Geological Survey.

Ten westen van Durdle Door tot aan Lulworth Cove hebben de gesteenten van de 'Portland Group' tot en met de 'Chalk Group' een verticale of heel steile hellingshoek (afb. 20 en 21). De muur van resistente 'Portland Stone', die op meerdere plaatsen dit deel van de kust tegen de verwoestende krachten van de zee beschermt, is aan deze verticale positie te danken. Bij

deze grote monoclinale structuur hoort ook de relatief kleine Z-vormige plooi die in de oostwand van de Stair Hole bij Lulworth Cove in de gelaagde gesteenten van de 'Purbeck Group' te zien is (afb. 13). Tijdens de verbuiging van de dikke gesteentepakketten hebben ook bewegingen binnen de gesteentepakketten plaatsgevonden en heeft de zwaartekracht in de steile flank meegeholpen bij het vormen van deze detailstructuur. Op deze plek kan met enige fantasie een idee van de afmetingen van de grote structuur verkregen worden. De gesteenten liepen oorspronkelijk in een denkbare lijn verder omhoog om iets zuidelijk hoog in de lucht om te buigen en dan verder richting het zuiden en boven zee weer langzaam af te dalen.

De plooiën en breuken die het gevolg zijn van de Mioceen bewegingen spelen een belangrijke rol bij de oliewinning in het 'Wessex Basin'. In de diepere delen van de structuren kon de oliëvorming plaatsvinden. Langs breuken kon de olie vervolgens naar boven migreren om in poreuze reservoirgesteenten in de kern van plooiombuigingen te verzamelen. Zowel met het gesteente dat de olie geleverd heeft, o.a. de 'Kimmeridge Clay', als met de reservoirgesteenten zoals de 'Bridport Sands' en de zanden uit de Trias, hebben we tijdens de reis langs de kust al kennis gemaakt.

Het kustlandschap

De grote verscheidenheid aan kustvormen en landschappen maken van de 'Jurassic Coast' een bijzonder geliefd reisdoel. Zij zijn ook het onderwerp van tal van geomorfologische studies naar de processen die dit landschap vormgeven en de relaties tussen reliëf, gesteente, structuur, erosie, materiaaltransport en sedimentatie. Een observatie die bij ieder klifbezoek gemaakt kan worden is bijvoorbeeld: wat is het verband tussen de vorm van het klif en het gesteente (samenstelling, resistentie, gelaagdheid), de structuren (diaklazen, ligt het gesteente horizontaal of onder een helling richting de zee of er juist van af) en het verloop van de kust ten opzichte van de strekking van het gesteente (evenwijdig of snijdend)?

Samengevat is de vorm van de kust het gevolg van de interactie tussen de gesteenten van het land en het water van de zee. Het resultaat is dynamisch en aan continue veranderingen onderhevig (afb. 22a en b). Deze veranderingen zijn het gevolg van processen die op uiteenlopende tijdschalen werkzaam zijn: van het dagelijkse eb- en vloedritme tot aan de zeespiegelveranderingen als gevolg van de IJstijden. Ter illustratie zullen een viertal



Afb. 22a. De rotsnaald 'Pom Pom Rock' van Portland Stone voor het klif van Portland Bill.



Afb. 22b. Na de storm van 7 januari 2014: volledig verwoest. Foto's: Kate Kelly.

voorbeelden van verschillende kustvormen die langs deze kust te vinden zijn kort besproken worden.

Durdle Door is niet zonder reden al meerdere malen ter sprake gekomen. De boog in de gesteenten van de 'Portland Stone' vormt het icoon van de 'Jurassic Coast' (afb. 23). Zoals hierboven beschreven zijn de gesteenten langs dit deel van de kust een onderdeel van de steile noordflank van de 'Purbeck Monocline' (afb. 20). De 'Portland Stone' bij Durdle Door vormt hierdoor een vrijwel verticale muur van harde kalksteen die de zee weinig mogelijkheden biedt om zijn eroderende werk uit te voeren. De enige zwakke punten zijn de diaklazen die in een regelmatig patroon het gesteente doorklieven. Zij zijn voor een belangrijk deel het gevolg van de krachten en vervormingen waaraan het gesteente tijdens het Mioceen onderhevig is geweest. Langs de diaklazen kan de zee het gesteente uithollen en uiteindelijk hele blokken vrijmaken en verwijderen. Op deze wijze zal de formatie langzaam 'uitgehuld' worden en kan de zee via de opening de erachter gelegen zachtere gesteenten van de 'Purbeck' bereiken. Deze situatie is in de Stair Hole niet ver van Durdle Door te



Afb. 23. Durdle Door waarin de Portland Stone vrijwel verticaal staat. Foto: Isabel van Schoor.

zien. Het gat kan zich tot boog verder ontwikkelen als achter de harde 'Portland' de zachtere formaties helemaal opgeruimd worden en ook het verlengde van de 'Portland' door erosie verdwenen is. Bij Durdle Door is dit geërodeerde verloop van de formatie in westelijke richting te vervolgen aan de hand van een paar rotsen die net boven water uitsteken. Op de achtergrond, aan de overkant van de baai, is het Isle of Portland te zien waar de 'Portland Stone' onderdeel is van de flauw hellende zuidflank van de 'Purbeck Monocline'. Als na verloop van tijd het deel van de boog boven het gat in-



Afb. 24. De 'Old Harry Rocks': erosieve kustvormen in de Chalk bij Studland. Foto: Hannah Stuart

stort, ontstaat er een rotsnaald die los van het klif in zee staat. In het oosten bij Studland zijn de 'Old Harry rocks' een aantal mooie exemplaren (afb. 24).

Lulworth Cove wordt gezien als een prachtig voorbeeld van een momentopname in een ontstaansreeks van baaivormen (afb. 25). In de nabije omgeving zijn diverse voorbeelden van baaien te zien waarvan elke baai in een ander stadium van ontwikkeling verkeert (afb. 20). Samen zouden deze baaien een schoolvoorbeeld van de verschillende stappen in een ontwikkelingsreeks vormen. Dit zou het geval zijn als alle factoren die de baaivorming beïnvloeden, identiek zijn met alleen de tijd als variabele. Omdat er in werkelijkheid meer verschillen zijn,



Afb. 25. De baai van Lulworth Cove. De top van het zeil van de zeilboot wijst ongeveer de grens tussen Purbeck Group (rechts) en Wealden Group (links) aan. Lower-/Upper Greensand en Gault zijn van deze afstand niet goed te zien. De hoge wand links is van Chalk. Foto: Isabel van Schoor.

is de vormingsgeschiedenis van elke baai waarschijnlijk net weer even anders. In grote lijnen is het begin van deze vorming hiervoor al beschreven. Na het doorbreken van de harde barrière van 'Portland Stone' en, in mindere mate, de 'Purbeck Group', kan de zee de erachter gelegen zachte gesteenten van het Onder-Krijt, en dan met name de zanden en kleien van de 'Wealden Group', opruimen. Dit maakt de baai achter het zeegat steeds breder en dieper (verder landinwaarts). De Stair Hole toont het begin van het doorbreken (afb. 26). In de baai van Lulworth Cove heeft het verbreden en achterwaarts uithollen tot een vrijwel perfecte ronde vorm geleid. Het landwaarts vergroten vertraagt sterk als de 'Chalk Group' bereikt wordt. De vergroting vindt nu vooral zijwaarts plaats, zeker doordat het zeegat zelf niet onaangestast blijft en ook steeds verder verbreedt. Dit stadium zou de Man O'War Cove bij Durdle Door illustreren (afb. 27). Als de baaien zich verder verbreden, kunnen twee naast elkaar gelegen baaien zich tot één grote aaneensluiten. Het resultaat zou te zien zijn in Mupe en Worbarrow Bay. Deze baaien liggen ten oosten van Lulworth Cove en het is in deze richting dat de gesteentepakketten uit het Onder-Krijt een steeds grotere dikte krijgen. Opmerkelijk is dus het feit dat deze twee oostelijke baaien, waar het meeste materiaal door de zee moest worden opgeruimd, het verst in hun ontwikkeling zijn. Lokale factoren zullen een rol gespeeld hebben. Vermoedelijk hebben de aanwezigheid en grootte van een dal op de plek van de huidige baaien een rol gespeeld. Subtiel verschillen in het



Afb. 26. De Stair Hole bij Lulworth Cove met één van de twee gaten in de Portland Stone. Links de gelaagde gesteenten van de Purbeck Group (met plooi) en op de voorgrond de roodkleurige klei van de Wealden

golfregime kunnen ook een bijdrage geleverd hebben. Het is één van de belangrijkste thema's uit de geologie: kleine, voortdurende veranderingen kunnen over een lange geologische tijd grote gevolgen hebben.

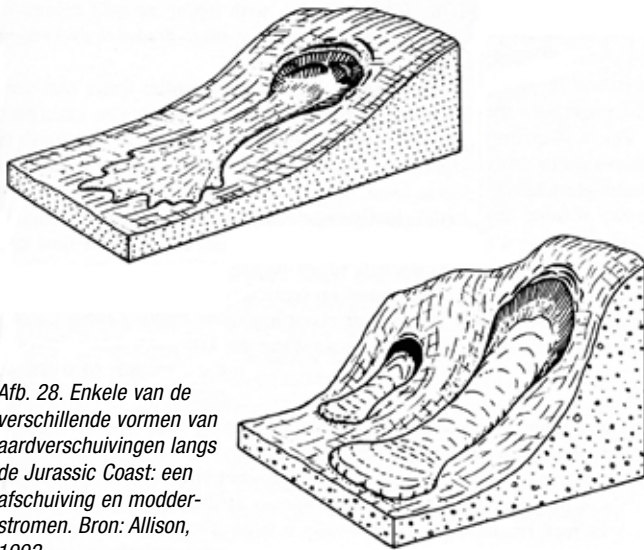
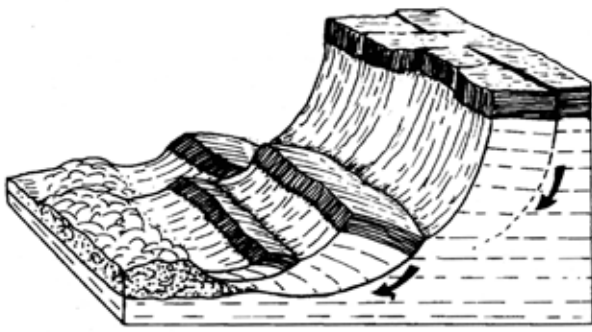
Aardverschuivingen zijn de meest actieve en opvallendste landschapsvormende processen langs de 'Jurassic Coast' (afb. 28). Een ieder die naar fossielen op het strand bij Lyme Regis en Charmouth gezocht heeft, zal de modderige tongvormige massa's die soms een groot deel van het strand blokkeren, zijn tegengekomen. Het betreden van deze modderstromen kan levensgevaarlijk zijn. Maar het gevaar beperkt zich niet tot de onvoorzichtige waaghals. De aardverschuivingen zijn zo groot-



Afb. 27. De Man O' War Cove met een 'reef' van Portland Stone (de lijn van rotsen in zee). Foto: Marcel van Schoor.

schalig, dat een brede zone achter de kliffen gevoelig is voor scheurvorming, wegzakken en uiteindelijk wegschuiven. Voor een bebouwde omgeving zijn deze gevolgen rampzalig (afb. 29). Een plaats als Lyme Regis kampt al sinds lange tijd met de

instabiliteit van de ondergrond. In het eerste deel zijn de ingrijpende werkzaamheden in het westelijke deel van het plaatsje achter de haven al besproken. Maar ook in de oostelijke rand van het dorp dat aan de grote 'Black Ven Landslide' grenst (afb. 30), zijn de sporen van bodembewegingen, zoals scheuren in het asfalt van wegen, zichtbaar. Van belang bij het ontstaan van aardverschuivingen zijn de gesteent-



Afb. 28. Enkele van de verschillende vormen van aardverschuivingen langs de Jurassic Coast: een afschuiving en modderstromen. Bron: Allison, 1992.

te-opeenvolging (de stratigrafie) en de hellingshoek van de gelaagdheid in het klif. Plaatsen waar de permeabele zanden van de 'Upper Greensand Formation' als gevolg van de transgressie aan het einde van het Onder-Krijt op de kleien van de Onder-Jura (Lias) zijn afgezet, zijn gevoelig voor aardverschuivingen (afb. 31). Het regenwater dringt de zanden binnen en zakt door het gesteente naar beneden totdat het op de impermeabele kleien stuit. Op dit niveau bouwt de waterspanning zich op, raakt het gesteente verzadigd en gaat het water ondergronds afstromen. Het vermindert de weerstand tegen schuiven bijzonder sterk. Bij Black Ven hellen de lagen en het

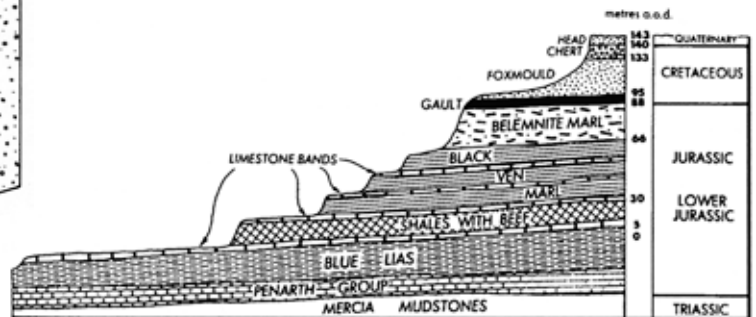


Afb. 29. Aardverschuivingen boven Monmouth Beach, ten westen van Lyme Regis, februari 2013. Bron: Flickr.com.



Afb. 30. De grote Black Ven Landslide, één van de grootste in Europa, tussen Lyme Regis en Charmouth met de donkere kleien uit de Onder-Jura (waaronder de Black Ven Marl) en bovenaan de okerkleurige zanden van de Upper Greensand. Foto: George Gardner.

scheidingsvlak een enkele graad in een zuidelijke richting. Over dit scheidingsvlak stroomt het water in bronnetjes het klif uit. De kleien eronder raken ook waterverzadigd en beginnen naar beneden te glijden. De 'Upper Greensand Formation' wordt ondermijnd en zal door de geringe weerstand gaan glijden. De gesteentemassa's schuiven stapsgewijs de lange, getrapte klifhelling af. Als gletsjers bewegen de modderstromen het strand



Afb. 31. Dwarsdoorsnede met de geologische opbouw van Black Ven tussen Lyme Regis en Charmouth. Foxmould en Chert zijn Members (delen) van de Upper Greensand Formation. Bron: Allison, 1992.

op. Doordat de zee het klif aan de onderzijde erodeert, blijft een onstabiele situatie gehandhaafd. Aardverschuivingen, het afglijden van puin, klifstortingen en andere massabewegingen komen op veel meer plaatsen langs de 'Jurassic Coast' voor. Zij zullen hier verder niet besproken worden. Er zijn speciale wandelingen met aandacht voor deze interessante dynamische processen en de landschappen die er het gevolg van zijn. Minstens één voordeel kan aan deze processen toegeschreven worden: een vrijwel continue aanvoer van vers gesteentemateriaal. Dit biedt kansen voor de vele fossielenzoekers.

Chesil Beach is een uniek natuurlijk fenomeen. Nu we het zojuist over fossielen hadden, wil ik stellen dat vrijwel geen fossielvondst kan wedijveren met een blik op dit natuurwonder, maar dit is de persoonlijke mening van de auteur. Met zijn lengte van 28 kilometer loopt deze grindwal van West Bay in het westen tot aan het Isle of Portland in het oosten (afb. 32). Alleen aan zijn begin en einde zit de grindwal direct aan het land vast; voor het grootste deel is de wal door een lagune (de Fleet) van het land gescheiden. Het grind aan het oppervlak bestaat voor 98,5% uit vuursteen. Er doen zich minstens twee opmerkelijke zaken voor als we de grindwal van west naar oost vervolgen. De korrelgrootte van het grind dat zich boven het laagwatervolume bevindt, neemt in deze richting systematisch toe, evenals de hoogte van de wal: van 6 tot 15 meter boven gemiddeld zeeniveau. Deze variatie zou samenhangen met ver-

schillende typen van golven die dit deel van de kust vanuit een verschillende hoek benaderen en met de sediment transporterende stroming langs de kust. Zeldzaam zware stormen kunnen het grindbudget in korte tijd drastisch veranderen (afb. 33). De onderzoeken naar deze verschijnselen beslaan een periode die véél te kort is in vergelijking met de hele ontstaansgeschiedenis van de wal. Dit maakt het moeilijk om de korte-termijntwikkelingen te scheiden van een lange-termijntrend. Over de bron van het grind bestaat nog de nodige discussie. Het materiaal zou aan het einde van de laatste IJstijd door een stijgende zeespiegel kustwaarts verplaatst zijn, waarna het



Afb. 32. Het grind van Chesil Beach in de omgeving van Portland.
Bron: totallydorset.com.

ongeveer 5.000 jaar geleden zijn huidige positie bereikte. Vanaf dat moment werd er sediment en veen in de Fleet afgezet. Toevoer van sediment uit het westen bleef in stand tot de constructie van de havenpielen bij West Bay in 1866. Na grootschalige grindwinningen in de vorige eeuw, werd de grindwinning in 1986 stopgezet. Omdat de grindwal een belangrijke rol in de kustverdediging heeft, is het de vraag in hoeverre Chesil Beach een fossiele structuur geworden is en hoe de wal zal reageren op een stijging van de zeespiegel.

Slotwoord

Met het heerlijke geluid van rollend grind in de branding op de achtergrond, zijn we aan het einde van dit tweeluik over de 'Jurassic Coast' gekomen. Het wordt hoog tijd om ons in een van de karakteristieke pubs terug te trekken. Grote kans dat er binnen een vitrine met fossielen uitgesteld is. Een mooi moment



Afb. 33. Chesil Beach tijdens één van de vele zware winterstormen van 2013/2014. Foto: Susan Hogben.

om terug te denken aan al die indrukken die langs deze kust verzameld zijn.

Literatuur

Dorset and East-Devon World Heritage Coast. Deel 1: 'A walk through time', door Marcel van Schoor, in *Gea* juni 2014 nr. 2, en verder:
Allison, R.J. 1992; The Coastal landforms of West Dorset. The Geologists' Association.
Perkins, J.W. 1977; *Geology explained in Dorset*. David & Charles.

Websites

www.bgs.ac.uk/lexicon/home.cfm: Website van de British Geological Survey waar de beschrijvingen van de formaties zijn te vinden.
www.dorsetriffs.org.uk/ Geologische objecten in het binnenland van Dorset.
www.dorsetlife.co.uk/2011/12/the-land-on-which-we-live-the-geology-of-dorset/
www.dorsetlife.co.uk/2012/03/the-geology-of-dorset-the-jurassic-rocks/
www.dorsetlife.co.uk/2012/09/geology-of-dorset-the-cretaceous-rocks/
www.dorsetlife.co.uk/2012/12/the-geology-of-dorset-the-palaeogene-rocks/
www.dorsetlife.co.uk/2013/02/the-geology-of-dorset-the-quaternary-period/

Het ontstaan van gesteenten en mineralen in grotten

door Herman de Swart
hermandeswart@casema.nl

In dit laatste artikel in de serie over 'speleogenese' ga ik in op het ontstaan en de afzetting van gesteenten en mineralen in grotten: speleomineralogie en speleosedimentologie.

Afzettingen in grotten worden onderverdeeld in drie categorieën:

- klastische sedimenten, die bestaan uit losse fragmenten van geërodeerde gesteenten;
- chemische afzettingen, in het dagelijks gebruik 'druipsteen' genoemd. Een betere term is kalksinter of 'speleothems' (in het Engels), want niet alle chemische afzettingen ontstaan uit druipend water;
- biologische afzettingen, ook wel biogene afzettingen genoemd.

Klastische sedimenten

Klastische sedimenten, van leem tot en met grote steenblokken, komen vaak in grotten voor. Ze zijn in de grot zelf ontstaan of van buiten af in de grot ingespoeld of gevallen.

Als kalk corrodeert blijven de andere oorspronkelijk in de kalk aanwezige mineralen, vooral kleimineralen en ijzer, achter.

Als de opgeloste kalk is afgevoerd, is het restproduct dan ook een door ijzer min of meer roodgekleurde leem, 'terra rossa' genaamd. In dolinen vormt deze terra rossa een vruchtbare bodem waardoor de dolinen qua begroeiing vaak sterk tegen de kale omgeving afsteken. In de terra rossa, bijvoorbeeld in de vullingen van diepere dolines en karstspalten, vinden we de overgebleven ijzermineralen (meestal limoniet) vaak in de vorm van enkele centimeters grote knollen, die boonerts worden genoemd (afb. 1). Ook kan leem in een grot zijn ingespoeld, of zelfs door gletsjers of landijs in de grot als eindmorene zijn afgezet; ook kan leem met gletsjerwater in de grot terecht zijn gekomen. In dat geval zijn zelfs varven herkenbaar. Deze 'jaarlingen' zijn van belang voor datering en geven informatie over het paleoklimaat.

Als in een grotgang de bodem met leem is bedekt en het water



Afb. 1. Boonerts (limoniet) uit een karstspaltevulling in de Schwäbische Alb, Zuid-Duitsland. Beeldbreedte 10 cm. Foto en collectie auteur.

niet snel genoeg stroomt om de leem af te voeren, zal de corrosie vooral het plafond aantasten; de grotgang wordt dan steeds hoger. Vaak zijn grotgangen door leem afgesloten. Graven is

dan de enige manier om een doorgang te vinden. Op een leembedekking van de bodem worden soms weer een laag calciet en stalagmieten afgezet. Als later de leem door stromend water wordt weggespoeld, kan de calcietlaag als een 'valse vloer' of 'calcietbrug' achterblijven. In de Grotten van Han (België) loopt het pad voor de toeristen onder enkele van deze calcietbruggen door. Door water dat vanaf het plafond druipen kunnen in leem op de bodem van de grot ook mooie formaties ontstaan, zoals 'inslagkraters' of (soms hele wouden van) leemsparran.

Zand en grind, waar geen kalk in voorkomt, zijn in karstgrotten meestal van buiten de grot afkomstig en door rivieren naar binnen gespoeld. In Belgische grotten vinden we vaak afzettingen van de gesteenten die de kalkgebieden omzomen, bijvoorbeeld de zandstenen uit Devoon en Carboon die de kalken afwisselen. Grotere blokken bestaan dikwijls wel uit kalk en zijn na instortingen van het plafond of de wanden achtergebleven. In de loop van de (geologische) tijd zullen die door corrosie weer verdwijnen. Soms blokkeren die blokken de gang compleet en vormen ze een blokkenstort of éboulis. Speleologen zien zich dan genoodzaakt hun weg tussen deze blokken door te zoeken.

Onder zowel speleologen als een breder publiek is er veel aandacht voor druipsteengrotten. Hoewel we er in grotten dikwijls zo maar overheen lopen, zijn leem en andere 'losse' sedimenten als zand en grind ook belangrijk. Deze sedimenten:

- geven aanwijzingen over het ontstaan van de grot (speleogenese);
- 'beschermen' onderliggende vormen en materiaal;
- geven informatie over het klimaat tijdens de sedimentatie;
- kunnen gebruikt worden voor absolute dateringen, zoals pollenanalyse, paleomagnetisme en C14-dateringen op ingesloten organisch materiaal;
- maken ook relatieve dateringen mogelijk omdat sedimenten in grotten vaak netjes op elkaar en ongestoord zijn afgezet;
- zijn van groot belang voor paleontologen en archeologen omdat ze overblijfselen kunnen bevatten van uitgestorven diersoorten en prehistorische mensen, zelfs van kwetsbare spoorfossielen zoals voetafdrukken van de prehistorische mens;
- zijn interessant voor biologen vanwege de in het sediment levende dieren. Heel beroemd zijn de wormen uit het Hölloch in Zwitserland, die als relict van de tijd voor de laatste ijstijd worden beschouwd en die nu - behalve in het Hölloch - alleen nog ten zuiden van de Alpen voorkomen.

Een voorbeeld van een klein eigen onderzoek (met dank aan de GEA-werkgroep Zand) wil ik in dit verband noemen. De sedimenten diep in een lavagrot op het Canarische eiland La Palma werden in de vakliteratuur toegeschreven aan een tsunami. Ik kon aantonen dat ze gewoon van de oppervlakte afkomstig waren en door spalten in het plafond in de grot terecht waren gekomen!

Chemische afzettingen ('druipsteenvorming')

In het eerste artikel van deze serie (zie onder literatuur) beschreef ik het proces van corrosie met de chemische formule: