

Dorset and East-Devon World Heritage Coast

'A walk through time'

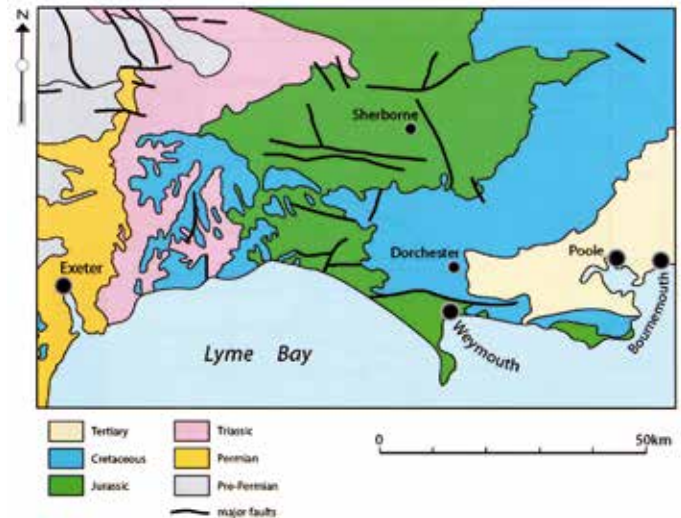
door Marcel van Schoor
m.vanschoor@hetnet.nl

Voor de in geologie geïnteresseerde bewoners van het laaggelegen, regenrijke en daardoor groene deel van West-Europa vormen klifkusten een mooi reisdoel. Terwijl in het binnenland de gesteenten nauwelijks en dan vaak in kleine en overwoerde ontsluitingen of in moeilijk toegankelijke groeves te zien zijn, heeft men langs de klifkusten vaak een weids tweedimensionaal zicht op de gesteenten die landinwaarts verscholen onder het oppervlak liggen. Dankzij de erosie van de zee blijven kliffen vrij van begroeiing en komt er voortdurend 'vers' materiaal tevoorschijn. Die weidse blik maakt het in veel gevallen mogelijk een goed beeld te vormen van de grootschalige opbouw van de gesteenten. Structuren als plooien en breuken, veranderingen in de samenstelling van het gesteente - in horizontale en verticale richting - zijn over grotere afstanden te vervolgen. In het binnenland is van dit soort structuren en gesteenterelaties vaak maar een detail te zien en gaat het overgrote deel van de geologie verborgen onder een dikke deken van bodem en plantengroei.

185 miljoen jaar aardgeschiedenis

Eén van de mooiste klifkusten die binnen een dag vanuit ons land is te bereiken, is de kust van de graafschappen Dorset en Devon in het zuidwesten van Engeland. Hier bevindt zich de 'Dorset and East Devon World Heritage Coast' ook wel de 'Jurassic Coast' genaamd, hoewel deze laatste naam de lading niet volledig dekt. Deze kust kwam in 2001 als Englands eerste natuurlijk erfgoed op de UNESCO Werelderfgoedlijst. Met een lengte van 155 km en met een breedte die valt tussen de gemiddelde laagwaterlijn en de top van het klif, is het een lang en smal gebied dat loopt van Exmouth in East Devon in het westen, via West Dorset, Weymouth en Portland, tot aan Studland in Purbeck in het oosten. Afb. 1.

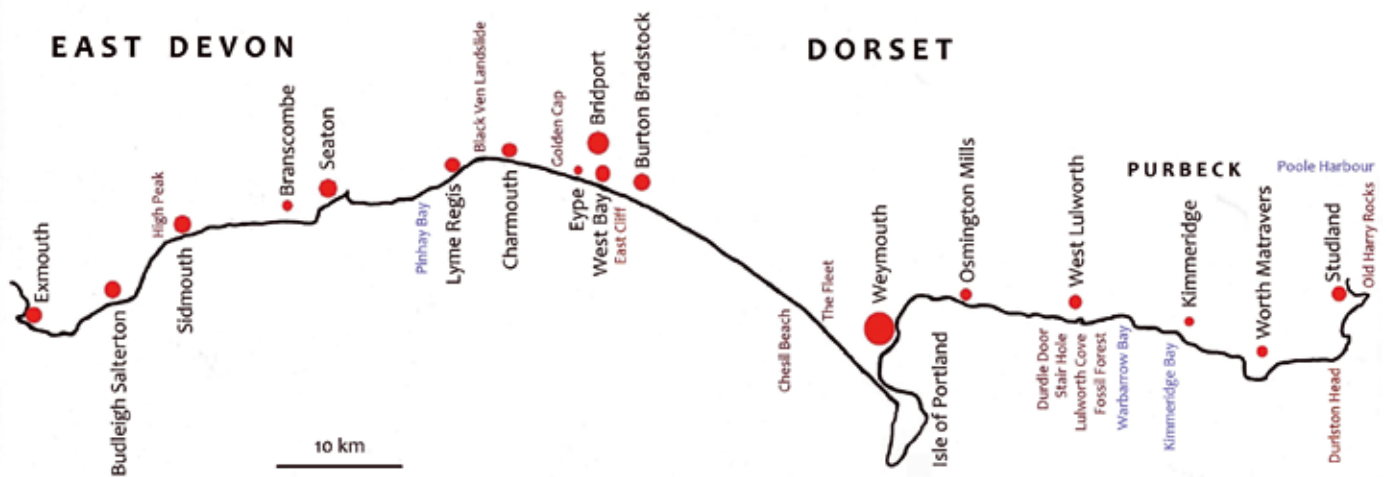
De gesteenten die langs dit stuk kust in de kliffen te zien zijn omvatten 185 miljoen jaar aardgeschiedenis: van 250 miljoen jaar tot 65 miljoen jaar terug. Dit is het hele Mesozoïcum, van de Trias tot en met het Krijt. Een tijdperk dat grote veranderingen laat zien met in het begin het verdwijnen van de 'oude' Paleozoïsche leefwereld en waarin naar het eind de kiem gelegd wordt voor de moderne wereld. Maar het zijn vooral de gesteenten uit de Jura die de hoofdrol spelen en die bijna nergens anders op



Afb. 2. Vereenvoudigde geologische kaart van een deel van East Devon en Dorset. Uit: Hart 2009.

aarde een zo goed beeld van de leefwereld uit die tijd hebben opgeleverd. Afb. 2.

Dankzij bewegingen in de aardkorst op de grens van het Onder- en Boven-Krijt valt deze geschiedenis op een unieke wijze te beleven. Rond die tijd zijn de toen aanwezige gesteenten scheef gesteld - zij hellen nu naar het oosten - en voor een deel door erosie verdwenen. Later heeft de zee aan het einde van het Onder-Krijt het gebied weer overspoeld en zijn de gesteenten uit deze laatste periode afgezet. Dit betekent dat als men van west naar oost langs de kust reist er steeds jongere gesteenten in het klif tevoorschijn komen. Op deze manier kan men een indrukwekkende reis door de tijd maken: 'A walk through time'. Zo is het voor de bezoeker mogelijk om alle veranderingen die in dit



Afb. 1. De kustlijn van de Jurassic Coast van East Devon en Dorset, met de in de tekst genoemde plaatsnamen. Tekening M. van Schoor.

deel van de wereld tijdens het Mesozoïcum hebben plaatsgevonden en die vaak zo mooi in de gesteenten gedocumenteerd zijn, opnieuw te beleven. Hiervoor zijn natuurlijk wel enige beeldingskracht en kennis vereist. Aan dit laatste aspect hoopt dit artikel een bijdrage te leveren.

Gevarieerd kustlandschap

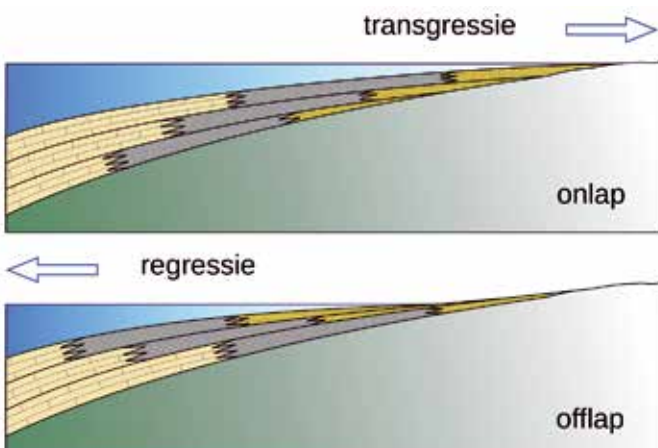
Naast de bijzondere geologie verdient ook het kustlandschap alle aandacht. Dankzij de grote variatie aan gesteenten in de ondergrond is er een even grote variatie aan landschapsvormen ontstaan, waarvan vele het predicaat 'schoolvoorbeeld' dragen. Dit landschap is geen eindstadium; de processen die de kust gevormd hebben, zijn nog volop in werking. Zo zijn de grootste actieve aardverschuivingen van Europa hier te vinden. Heel verhelderend is de aanwezigheid van verwante kustvormen, die elk een bepaalde fase vertegenwoordigen in een reeks van ontwikkelingsstadia. Het is dan ook niet verwonderlijk dat deze kust een belangrijke bijdrage heeft geleverd aan de studie van de geomorfologie. Dit belang voor de wetenschap is één van de criteria geweest om dit gebied op de Werelderfgoedlijst te plaatsen. Deze criteria zijn:

- De aanwezigheid van gesteenten die 185 miljoen jaar aardgeschiedenis documenteren, oftewel het gehele Mesozoïcum;
- De zéér belangrijke bijdrage die het gebied al meer dan 300 jaar aan de geologie, geomorfologie en paleontologie geleverd heeft;
- Fossilvindplaatsen van wereldbelang;
- Gebied met een hoge waarde voor onderwijs en onderzoek in de aardwetenschappen.

Stratigrafie

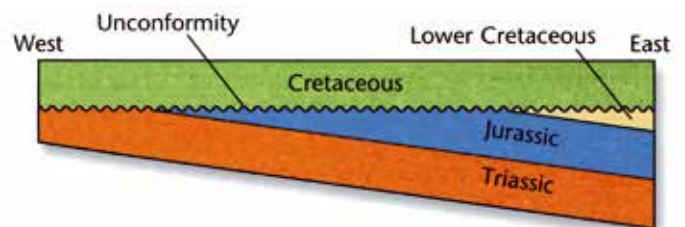
Een bezoek aan de 'Jurassic Coast' betekent meestal dat er op verschillende plaatsen aan de kust waarnemingen worden gedaan. Om deze losse waarnemingen in het grote verhaal van de geologische geschiedenis van dit gebied te plaatsen, is het handig om met een aantal begrippen uit de stratigrafie vertrouwd te zijn. Deze wetenschap beschrijft de eigenschappen van gelaagde gesteenten (sedimenten en vulkanische gesteenten) en hun onderlinge relaties in ruimte en tijd (opeenvolging, verspreiding). De gesteenten die aan de 'Jurassic Coast' gevonden worden, zijn allemaal sedimenten die in zee of op land zijn afgezet. De zee bereikte nooit een grote diepte en in de periodes dat het gebied land was, lag het nooit ver boven zeeniveau. In een dergelijke situatie leiden veranderingen in de stand van de zeespiegel tot het overstromen (transgressie) en droogvallen (regressie) van het land en aangrenzende zeeën en tot wisselingen in de diepte van die zee. Afb. 3. Deze zeespiegelveranderingen kunnen een grote invloed hebben op het type sediment dat op een bepaalde plek wordt afgezet. Daarnaast spelen bodembewegingen en klimaatveranderingen ook een rol.

Tijdens het Mesozoïcum passeerde de kust diverse malen het gebied van de 'Jurassic Coast' als gevolg van een stijgende en

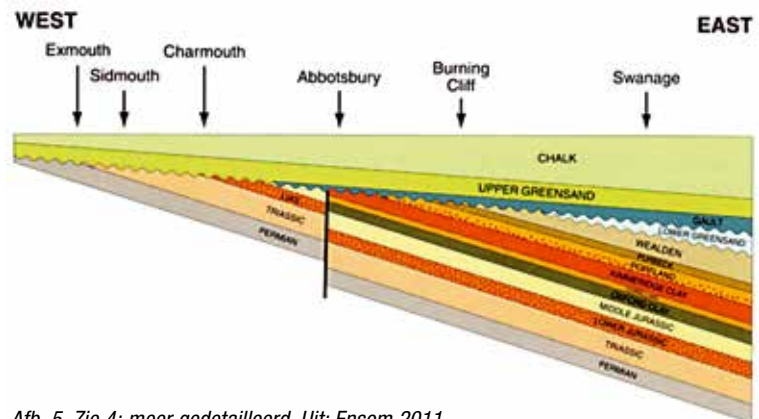


Afb. 3. Faciëverschuiving.

dalende zeespiegel. In grote lijnen zien we dat het gebied aan het einde van het Perm en in de Trias land was, waarna aan het begin van de Jura een transgressie plaatsvond en de zee dit land overspoelde. Tijdens de Jura bleef het gebied zee maar door wisselingen in de zeespiegel veranderde de diepte van die zee met enige regelmaat. Meermaals kwam het leven in deze zee tot grote bloei. Na het einde van de Jura wordt de zee steeds ondieper (regressie) en op de grens van Jura en Krijt ligt de 'Jurassic Coast' in een kustzone met lagunes en moerassen. In het Onder-Krijt is het gebied weer land. De bodembewegingen die dan plaatsvinden zorgen voor een scheefstand van de gevormde gesteenten. Ze komen naar het oosten te hellen en omdat het gebied boven zeeniveau ligt kan de erosie met zijn opruimende werk beginnen. Door de gekantelde ligging kan de erosie in westelijke richting steeds oudere gesteentelagen verwijderen. Als de zeespiegel in het Boven-Krijt opnieuw stijgt en de 'Jurassic Coast' door deze transgressie in toenemende mate onder water verdwijnt, worden de gesteenten van deze laatste periode over het hele gebied afgezet. Hierdoor liggen de afzettingen uit het Boven-Krijt naar het westen toe op een steeds oudere ondergrond. Afb. 4 en 5.



Afb. 4. Vereenvoudigd west-oost profiel langs de Jurassic Coast met de hoekdiscordantie tussen de eronder gelegen Trias tot en met het Onder-Krijt en het erboven gelegen Boven-Krijt. Naar het westen toe overspoelde de Boven-Krijtzee steeds oudere lagen. Uit: Edwards 2008.



Afb. 5. Zie 4; meer gedetailleerd. Uit: Ensom 2011.

Uiteindelijk bereikt de zeespiegel in het Boven-Krijt een uitzonderlijk hoge stand. Als het water vervolgens weer zakt, blijft de 'Jurassic Coast' vermoedelijk tot ver in het Cenozoïcum onder invloed van de zee staan. Hiervan zijn alleen buiten het gebied afzettingen bewaard gebleven. Aan het begin van deze laatste periode hebben bodembewegingen opnieuw invloed op de ligging en aanwezigheid in de ondergrond van de gesteenten uit de voorgaande periodes.

Sedimentatie en transgressie/regressie

Vooraf gebieden die net boven of onder zeeniveau liggen is er een belangrijke invloed van de zeespiegelstand op de afzettingen die worden gevormd. Afzettingen op land hebben een geheel ander karakter dan afzettingen die in zee (marin) ontstaan. In ondiepe randzeeën is de invloed van zeespiegelbewe-

gingen op de sedimentatie groot. Deze invloed bestaat uit veranderingen in de afstand tot de kust, de aanvoer van sediment vanaf het land en een meer of minder geïsoleerde ligging van de zee. De relatie tussen sedimentatie en zeespiegelstand is voor de gesteenten die aan de 'Jurassic Coast' gevonden worden, en dan vooral die van de Jura, in grote lijnen als volgt. Afb. 6. In relatief diep water wordt klei afgezet, in ondieper water (dichter bij de kust) wordt zand afgezet en in ondiep water (in een zone

richting. De wet wordt daarom ook wel de 'faciesverschuivingsregel' genoemd; facies die in een gesteenteserie elkaar in verticale richting opvolgen, zijn in de natuur naast elkaar gevormd. Voorwaarde is wel dat er een afzettingsgebied is, bijvoorbeeld een zee, die met de tijd ruimte blijft bieden aan deze opeenstapeling van afzettingen. Dit kan als de bodem van het afzettingsgebied langdurig daalt.

De gesteenten van de 'Jurassic Coast' zijn afgezet in een dergelijk aaneengesloten afzettingsgebied, ofwel sedimentatiebekken. Dit is het 'Wessex Basin'. Oorspronkelijk hadden de gesteenten van de 'Jurassic Coast' binnen dit sedimentatiebekken een veel grotere verbreiding. Door de scheefstelling en daarop volgende erosie is, afhankelijk van de locatie, een meer of minder groot deel van de gesteenteserie verdwenen. Deze serie is dus nergens compleet. Een dergelijke complete serie zou ook niet in één klif te zien kunnen zijn (maar mogelijk wel in boringen); daarvoor is de totale dikte van het pakket veel te groot. Wel kan men binnen een sedimentatiebekken zoals het 'Wessex Basin' een reconstructie van deze complete gesteente-opeenvolging maken. Daarvoor worden de verschillende stukjes van de gesteenteserie, zoals deze te zien zijn op de verschillende locaties, samengevoegd tot één geheel. Het resultaat kan worden weergegeven in een geologisch kolomprofiel. In dit profiel vallen de wisselingen in de gesteentesamenstelling door de tijd heen goed op. Afb. 7.

Period	Name	Subdivision	
Quaternary	Shingle ridges, saltmarsh deposits, river terrace gravels, alluvium, peat, head and landslips		
Tertiary & Quaternary	Clay-with-flints		
Cretaceous	Chalk	'Upper Chalk'	
		'Middle Chalk'	
		Beer Head Limestone	
	Upper Greensand	Bindon Sandstone	
		Whitecliff Chert	
Gault	Foxmould		
Jurassic	Charmouth Mudstone	Shales-with-Beef	
	Blue Lias		
Triassic	Penarth Group	Lilstock Formation	Langport Member ('White Lias')
			Cotham Member
		Westbury Formation	
	Mercia Mudstone	Blue Anchor Formation	
		Other formations, including Dunscombe Mudstone Formation	
	Otter Sandstone		
Budleigh Salterton Pebble Beds			
Permian	Aylesbeare Mudstone	Littleham Mudstone	
		Exmouth Mudstone and Sandstone	
	Exe Breccia		

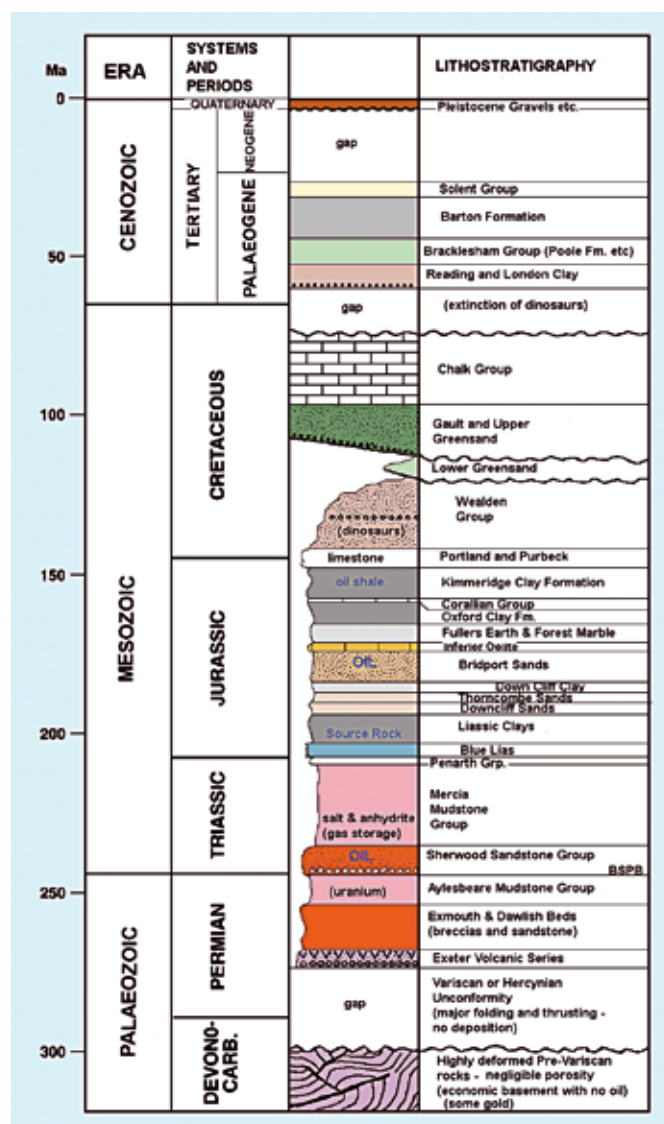
Afb. 6. Vereenvoudigde stratigrafische tabel van de Jurassic Coast. Uit: Edwards 2008.

langs de kust) vormt zich kalk. Deze van de zeediepte afhankelijke sedimenttypen bedekken daarmee gebieden die grofweg parallel met de kust lopen. Als de zeespiegel verandert en de kust zich daardoor verplaatst, zullen deze gebieden mee verplaatsen. Vindt er een transgressie plaats met een landwaartse verschuiving van de kust, dan zal op de plek waar eerst kalk werd afgezet in het nu diepere water zand worden afgezet. Het gevolg is de afzetting van een pakket van zanden op kalk. Een opeenvolging van kalk – zand – klei betekent dus een dieper wordende zee oftewel een transgressie. Omgekeerd betekent de opeenvolging klei – zand – kalk dat er een regressie heeft plaatsgevonden.

Fossiele afzettingmilieus

Het geheel van eigenschappen dat een gesteente kenmerkt, wordt facies genoemd. Deze facies wordt door de omgeving waarin het gesteente zich vormt bepaald. Andersom laat de facies die een gesteente kenmerkt conclusies over zijn ontstaansomgeving - ofwel afzettingmilieu - toe. Facies kunnen worden beschouwd als fossiele afzettingmilieus. Reizen we vanaf de kust over de bodem van de zee richting dieper water dan passeren we verschillende afzettingmilieus, elk met een kenmerkend sedimenttype. Dit levert afzettingen op waarvan de facies in de richting van het horizontale vlak (de bodem van de zee) verandert.

Hoe komen nu de verschillende gesteentelagen met elk hun eigen facies, zoals dat op sommige plaatsen in het klif te zien is, boven elkaar te liggen? Dit wordt verklaard in Walther's facieswet, beschreven door de Duitse geoloog Johannes Walther (1860-1937). Walther stelt dat faciesverschillen in het horizontale vlak door het verschuiven van de afzettingsomstandigheden, bijvoorbeeld bij veranderingen in de zeespiegel, een sedimentpakket oplevert met dezelfde faciesverschillen in verticale



Afb. 7. Stratigrafische kolom voor het Wessex Basin. Uit: Ian West, 2010, naar Underhill en Stoneley, 1998.

Gidsfossielen

Het samenstellen van een kolomprofiel is een belangrijk onderdeel van de stratigrafie. Door van de verschillende gesteentelagen de relatieve ouderdom te bepalen, kunnen ze in chronologische volgorde gegroepeerd worden. Fossielen zijn hierbij het voornaamste hulpmiddel. Aan de hand van de voortdurend veranderende soortensamenstelling van het leven op aarde is aan de hand van de associatie van fossielen te bepalen in welke geologische periode het gesteente is afgezet. Zo zijn de ammonieten van de Jura voor deze periode belangrijke 'gidsfossielen': ze zijn eenvoudig te identificeren, niet zeldzaam en hebben een grote verspreiding. Gidsfossielen worden verder gekenmerkt door een snelle evolutie. Dankzij deze eigenschappen kan een nauwkeurige en gedetailleerde chronologie van de gesteentelagen in een sedimentatiebekken worden verkregen. Een indeling van de gesteenten op basis van hun samenstelling (lithostratigrafie) verschilt op een belangrijk punt van een indeling op basis van de fossielinhoud (biostratigrafie). Zoals we gezien hebben ligt de positie van het afzettingmilieu niet vast; het kan door de tijd heen verschuiven. Omdat de facies van een gesteente de 'fossiele' weergave van het afzettingmilieu is, kunnen de grenzen van een gesteentepakket dat door een facies gekenmerkt wordt, door de tijd heen lopen; zij zijn in dat geval diachroon. Dit in tegenstelling tot de grenzen die zijn bepaald door het voorkomen van gidsfossielen en fossielassociaties. Deze worden als min of meer synchroon beschouwd.

De kustkliffen - Trias

Als we gewapend met deze kennis de fraaie kliffen van de 'Jurassic Coast' bekijken, valt er veel te zien. We volgen het devies van de 'Jurassic Coast Trust' op en maken een reis door de tijd door de kust van west naar oost te volgen: van oud naar jong. Wat hierna volgt is een korte beschrijving van een aantal (maar zeker niet alle) gesteentepakketten die we onderweg zullen tegenkomen. Hierbij moeten we ons realiseren dat, in de 185 miljoen jaar - van Trias tot en met Krijt - de 'Jurassic Coast' zelf ook een lange reis heeft gemaakt. Als gevolg van platentektoniek is het gebied in die tijd verschoven van ongeveer 15 naar 40 graden noorderbreedte (dit is ongeveer 2.800 km, met een snelheid van gemiddeld 1,5 cm per jaar) - en passeerde daarmee verschillende klimaatzones. Het oudste 'Jurassic Coast'-gesteente werd afgezet tijdens warme omstandigheden.

Dat oudste gesteente is meer dan 250 miljoen jaar oud en ligt ten oosten van Exmouth. Het zijn afzettingen van grof grind die overgaan in zand- en kleiige gesteenten met een rode kleur. Het materiaal is uit het westen en zuiden door stromend water aangevoerd. De grovere fractie in de vorm van puinwaaiers, het fijnere zand en de klei door rivieren, hoewel het zand voor een belangrijk deel ook door de wind is getransporteerd. De 'Jurassic Coast' lag centraal in Pangea en ten noordwesten van de Tethys Oceaan die het Aziatische deel van het Afrikaanse deel van Pangea scheidde. De zuidelijke helft van Europa was met het sluiten van de Rheïsche Oceaan tijdens de Variscische orogenese aan Noord-Europa en het noordelijk deel van Noord-Amerika vast komen te zitten. Het gebergte dat uit deze botsing resulteerde leverde het verweringspuin dat in het gebied van de 'Jurassic Coast' belandde. Het klimaat was woestijnachtig, maar nattere periodes kwamen ook voor. De omstandigheden in de Trias waren niet veel anders. Opvallend is het dikke pakket conglomeraten uit het begin van deze periode. Deze zijn goed te zien in het klif bij Budleigh Salterton. De aanvoer van zeer grof grind duidt op een verjonging van het Variscische reliëf. Het bestaat hoofdzakelijk uit kwartsiet en kan wat zijn oorsprong betreft herleid worden tot Bretagne en Normandië. Dit heeft men kunnen vaststellen dankzij de aanwezig-

heid van fossielen uit het Ordovicium en Devoon, die vergelijkbaar zijn met de fauna uit dezelfde tijd die in gesteenten van die ouderdom in het noordwesten van Frankrijk gevonden wordt. De kiezels in het conglomeraat zijn mooi afgerond door het transport in rivieren. Als ze na erosie van het klif op het strand en in de branding terechtkomen, gaat dit proces - na een onderbreking van ongeveer 245 miljoen jaar - onverminderd verder.



Afb. 8. Landleven in de Trias.

Afgaande op het geologische profiel lijken de omstandigheden zich plotseling ingrijpend te wijzigen. De grindstenen boven in het conglomeraatpakket hebben door de wind gepolijste oppervlakken en zijn plaatselijk door lagen zand bedekt die in zandduinen zijn ontstaan. Kennelijk droogden de rivieren snel op en veranderde het gebied in een woestijn. Na verloop van tijd stroomden er opnieuw rivieren, maar deze voerden zand aan. Dit pakket van zandstenen bevat lagen met mooie stromingsstructuren en is één van de oliereservoirgesteentes voor het Wytch Farm olieveld in Poole Harbour, ten oosten van de 'Jurassic Coast'. De omgeving waarin deze zanden werden afgezet, bood bestaansmogelijkheden voor het toenmalige leven én fossilisatiekansen. De fossielen van o.a. amfibieën en reptielen uit deze Midden-Triasafzettingen hebben wereldwijde betekenis. Afb. 8.

Discontinuïteit van 110 miljoen jaar

In de Laat-Trias gaat het er rustiger aan toe. Het gebied is nu een uitgestrekte vlakte bedekt met woestijnmeren, zogenaamde playa lakes die soms helemaal opdrogen. De afzettingen zijn fijner dan de zanden die voorheen door de rivieren werden aangevoerd. Door het indampen van de zoutmeren komen er in de kleiige afzettingen lagen met gips voor. Deze gesteenten met hun mooie rode kleur vormen de kliffen ten westen en oosten van Sidmouth. Het verschil in samenstelling is door een verandering in het klifprofiel goed te zien. De zandstenen vormen verticale klifwanden; de kliffen in de zachtere kleiige gesteenten wijken terug en zijn sterk gegroefd door afstromend regenwater. In deze kliffen is ook het gevolg te zien van de reeks van gebeurtenissen die aan het einde van het Onder-Krijt en in het Boven-Krijt plaatsvonden en die hierboven al beschreven zijn. Vanaf High Peak bij Sidmouth tot aan Branscombe is goed te zien dat de toppen van de hoge heuvels die door het klif worden aangesneden uit een ander gesteente bestaan. Het onderste deel wordt gevormd door de rode gesteenten uit de Trias, daarboven liggen licht gekleurde gesteenten. Afb. 9. Het scheidingsvlak tussen deze twee gesteentegroepen loopt min of meer vlak en kan denkbeeldig van heuvel naar heuvel over de tussenlig-



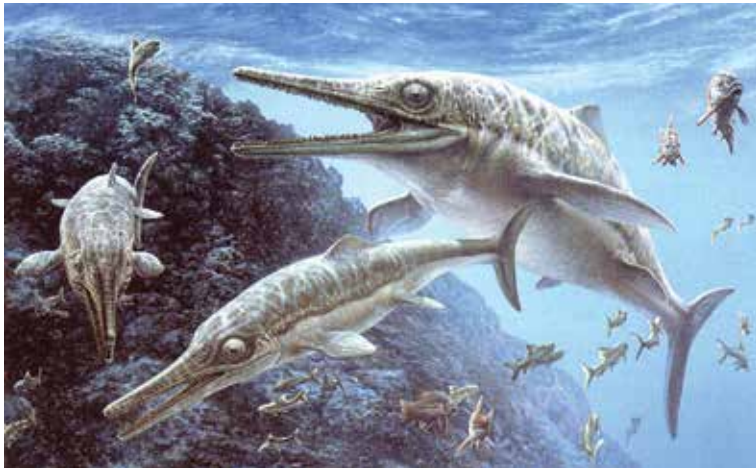
Afb. 9. Branscombe klif (tussen Sidmouth en Seaton) met het Boven-Krijt op de rode gesteenten uit de Trias. Foto: John Bainbridge.

continent Pangea begint in stukken te breken. De Tethys Oceaan breidt zich naar het westen toe uit en er ontstaan langgerekte riftbekkens die het openen van de Atlantische Oceaan aankondigen. Voor de 'Jurassic Coast' heeft dit grote gevolgen. De zee zal het gebied gaan overstroomen en na een lange periode van continentale afzettingen zullen de afzettingen van de Jura hoofdzakelijk marien zijn. De overgang gaat geleidelijk en is te zien in donkergekleurde kleiige gesteenten die zijn afgezet in brakwaterlagunes. Deze zijn te vinden in het klif ter hoogte van Charton Bay tussen Seaton en Lyme Regis. Deze laatste naam doet al vermoeden in welke periode we wandelend langs de kust zijn beland want Lyme Regis is beroemd om zijn Jura-fossielen.

De kustkliffen - Jura

Het begin van de Jura ligt bij het eerste verschijnen van de ammoniet *Psiloceras*. Dit is boven de basis van de 'Blue Lias' zodat het onderste deel van de 'Blue Lias' en de eronder gelegen 'White Lias' nog tot de Trias gerekend moeten worden. 'Blue-' en 'White Lias' zijn verouderde namen: 'White Lias' is komen te vervallen, deze gesteenten zijn nu onderdeel van de 'Penarth Group' en 'Blue Lias' is veranderd in 'Blue Lias Formation'. Deze laatste eenheid is een geologische formatie, die is gebaseerd op lithologische kenmerken (de gesteenten in een formatie hebben één of meer eigenschappen gemeen). Vandaar dat de ondergrens van de 'Blue Lias Formation' niet samenvalt met de grens tussen Trias en Jura, die immers gedefinieerd wordt door het eerste optreden van de ammoniet *Psiloceras planorbis*.

Geheel onomstreden is deze grens overigens niet. Aan de noordelijke kust van Somerset (60 km naar het noorden), lijkt dezelfde ammoniet op een iets ander tijdstip te verschijnen, zodat dit moment niet alleen door de evolutie maar ook door migratie beïnvloed lijkt.



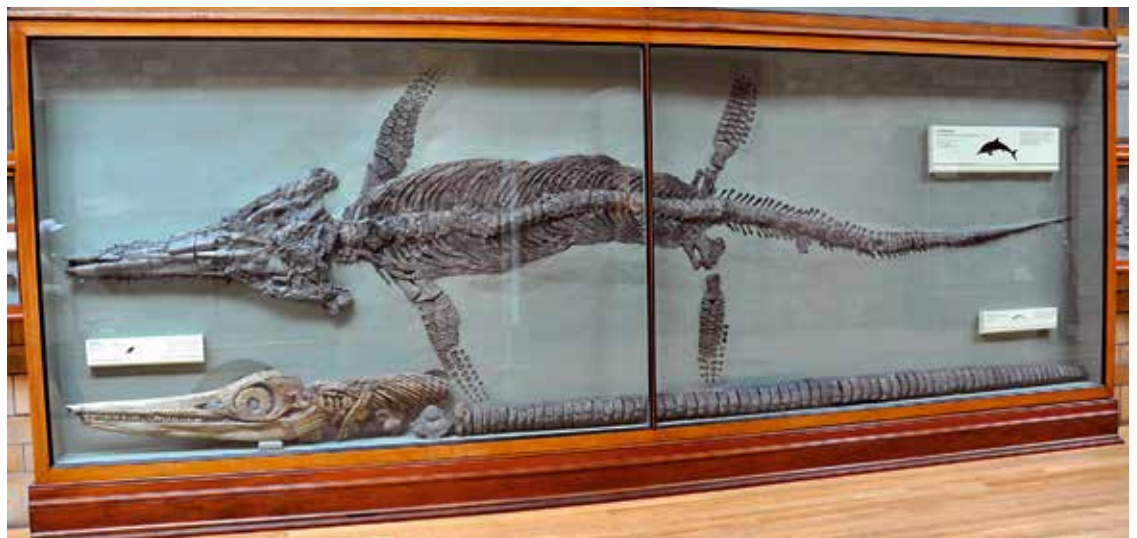
Afb. 10. Het leven in de Jura-zee. Uit: Brunsden 2003.

gende dalen heen met elkaar verbonden worden. Dit vlak is het oude landoppervlak, resultaat van de erosie na de scheefstelling van het hele pakket lagen van Onder-Krijt en ouder, waarna aan het eind van het Boven-Krijt de zee dit land overspoelde en met een nieuw pakket van sedimenten bedekte. Hier in het westen van de 'Jurassic Coast', waar de oudere lagen door de scheefstelling hoger liggen als in het oosten, is alles jonger dan Trias door de erosie verdwenen en ligt het Boven-Krijt direct op de Boven-Trias. Er ontbreken 110 miljoen jaar in de opeenvolging! Naar het oosten zullen steeds jongere gesteenten onder deze discontinuïteit te zien zijn.

Aan het einde van de Trias - er is inmiddels 50 miljoen jaar verstreken sinds het begin van onze wandeling - ontstaat er weer grote onrust in dit deel van de aardkorst. Het super-

Het overstroomen van de lagere delen van de continenten in het begin van de Jura zorgde voor een grote uitbreiding van ondiepe randzeeën waarin het leven tot bloei kwam. Afb. 10. De zee die vanaf dat moment ook uitgestrekte delen van Engeland bedekte, vormde hierop geen uitzondering. De vele, soms uitzonderlijk mooi en compleet bewaard gebleven fossiele overblijfselen van dit zeeleven trekken al sinds verscheidene eeuwen de aandacht van vooraanstaande paleontologen en andere geïnteresseerden.

Afb. 11. *Ichthyosaurus*, gevonden door Mary Anning, in het Natural History Museum (Londen). Foto: Wim van den Broek.





Afb. 12. *Plesiosaurus*.

Dankzij deze vondsten en de lange periode van onderzoek is er een goed beeld ontstaan van het leven in de zeeën van de Jura in deze omgeving. De kwaliteit van dit 'venster op het voorbije leven' en de grote rol die de fossielen op de ontwikkeling van de paleontologie hebben gespeeld, zijn belangrijke criteria geweest om het gebied op de Werelderfgoedlijst te plaatsen.

Mary Anning

Eén van de hoofdrolspelers als het om de paleontologie van de 'Jurassic Coast' gaat, is ongetwijfeld Mary Anning (1799-1847). Geboren in Lyme Regis heeft zij, in navolging van haar vader en samen met haar broer, een groot deel van haar leven gewijd aan het zoeken, beschrijven en verkopen van fossielen. Zij was vrijwel ongeschoold maar bijzonder kundig in het vinden van fossielen. Op haar naam staan de eerste vondsten van een ichthyosaurus (afb. 11), van een complete plesiosaurus (afb. 12) en van een *pterodactylus* (*Dimorphodon*) op Britse bodem. Haar werk trok de aandacht van de beroemde geologen van haar tijd en velen van hen reisden naar Lyme Regis om Mary Anning te bezoeken. Mede door al deze inspanningen groeide in de eerste helft van de 19e eeuw het inzicht dat de wereld in het verleden door geheel andere levensvormen dan de tegenwoordige bewoond is geweest. Belangrijke vondsten behoren niet alleen tot het verleden. In 2000 is er een vrijwel compleet skelet van een *Scelidosaurus harrisoni* gevonden. Deze plantenetende dinosauriër zal vermoedelijk vanaf land in zee gespoeld zijn om aldaar te fossiliseren. Dankzij de voortdurende erosie van de kliffen blijven nieuwe vondsten mogelijk. Afb. 13.



Afb. 13. Ammoniet op het strand bij Lyme Regis. Foto: Wim Zondag.

Wie zelf zijn geluk wil beproeven kan vanaf Lyme Regis, een plaatsje dat nog steeds in de ban van fossielen is, over het strand in westelijke richting langs het klif lopen waarin de 'Blue Lias Formation' ontsloten is. Opvallend is de afwisseling van harde en zachte lagen in het klif. Afb. 14. De harde lagen zijn kalkrijker en vormen soms trottoirachtige plateaus, 'ledges' die vanuit het klif tot in zee doorlopen. In sommige van deze oppervlakken zijn prachtige grote ammonieten te vinden ('ammonite pavement'). Over de oorsprong van deze afwisseling is veel gedebatteerd en tot een finale overeenstemming is het nog niet gekomen. De kalk zou als cement na de afzetting in bepaalde lagen zijn neergeslagen en dus diagenetisch van aard zijn: dit betekent dat de kalkcementatie samenhangt met de veranderingen die in het sediment optreden als het na afzetting overgaat in een harder gesteente. Dit wordt afgeleid uit het feit dat sommige kalklagen zijwaarts overgaan in een zachtere mergel. Er zijn echter ook aanwijzingen voor cyclische wisselingen in het kalkgehalte van het sediment tijdens de afzetting. Wisselingen die kunnen samenhangen met regelmatige klimaatveranderingen, die op hun beurt weer bepaald worden door stelselmatige veranderingen in de baan van de aarde om de zon (de astronomische grootheden of Milanković-cycli).



Afb. 14. Blue Lias bij Lyme Regis: harde en zachte lagen.



Afb. 15. De Black Ven Marls (Onder-Jura) op het strand ten oosten van Charmouth ter hoogte van Stonebarrow. De voet van het klif bestaat uit afgegleeden kleimassa's. Foto: Isabel van Schoor.



Afb. 16A. De bocht van Lyme Regis, Charmouth en de Golden Cap.
Foto: Wikimedia Commons/Kevin Walsh.

Aardverschuivingen

Ten oosten van Lyme Regis en ter hoogte van het verder oostelijk gelegen Charmouth is de jongere 'Charmouth Mudstone Formation' in het klif aanwezig, nog altijd met een Vroeg-Jurassische ouderdom. Al deze 'mudstones' maken het klif gevoelig voor aardverschuivingen, die dan ook met enige regelmaat optreden en waarvan de resultaten duidelijk op veel plaatsen langs het klif te zien zijn. Het betreden van deze afgegleden moddermassa's kan bijzonder gevaarlijk zijn. Ook Lyme Regis zelf loopt gevaar door een aardverschuiving getroffen te worden. Direct ten oosten van het dorp ligt de grote 'Black Ven landslide', waar de grond voortdurend hellingafwaarts beweegt. Afb. 15. Tijdens ingrijpende herstelwerkzaamheden aan de Langmoor and Lister Gardens aan de westzijde van het dorp zijn van 2005 tot 2007 uitgebreide verankerings- en drainageconstructies aangebracht met als doel de helling te stabiliseren. Deze werken zijn onderdeel van grootschalige en langdurige ingrepen met als doel hellinginstabiliteit en kusterosie tegen te gaan.

Het uitzicht vanaf Lyme Regis en Charmouth langs de gebogen kust is indrukwekkend. Afb. 16A. In het oosten ligt het hoogste klif van de Engelse zuidkust; de Golden Cap (191 m). De naam refereert aan hetzelfde verschijnsel dat we al eerder gezien hebben: de top bestaat uit een zandsteen uit het jongste Onder-Krijt ('Upper Greensand'), die de heuvel zijn goudkleurige kap geeft. Daaronder liggen gesteenten uit de Onder-Jura: een



Afb. 17. Geplytiseerde ammonieten: *Crucibiloceras* sp., uit de Black Ven Marls, Boven-Sinemurien (O.-Jura), aan de kust bij Charmouth. Foto: Wim Zondag.



Afb. 16B. Golden Cap vanaf Seatown, met de grijze mergels en kleistenen van de Onder-Jura en bovenaan de gelige zanden van de Upper Greensand (de groene kleur is door oxidatie van het ijzer in de zanden verdwenen) uit het bovendeel van het Onder-Krijt. Foto: Wim Zondag.

groot hiaat van ca. 80 miljoen jaar en opnieuw een mooie kijk op de transgressie aan het einde van het Onder-Krijt. Afb. 16B. De Onder-Jurassische klei- en zandstenen tussen Charmouth en West Bay zijn over het algemeen fossielrijk. Afb.17 en 18. Wie met een mooie buit naar huis wil gaan zal echter zijn best moeten doen; er wordt hier druk gezocht en in de kliffen hameren is niet toegestaan. Een bijzondere laag is het 'Starfish Bed' uit het midden van de Onder-Jura, die getuigt van een ingrijpende catastrofe die leidde tot een massaal sterven van slangsterren. Vermoedelijk werden ze plotseling door een laag sediment bedekt. Sommige oppervlakken in deze laag laten afdrucken zien van (half)dode slangsterren die, meegenomen door de stroom, over de bodem zijn gestuiterd.

Verder naar het oosten zijn bij Eype Mouth twee interessante fenomenen te zien. Oostelijk van dit punt ligt een breuk waarbij het gesteente ten oosten van de breuk is gezakt. Hierdoor liggen gesteenten uit de Midden-Jura (aan de oostzijde van de breuk) direct naast gesteenten uit de Boven-Jura (aan de westzijde van de breuk). Op deze plek is in het klif ook een laag van geelkleurige, fossielrijke kalksteen ('Junction Bed') ontsloten met een dikte van nog geen 2 meter die waarschijnlijk 7 miljoen jaar van sedimentatie vertegenwoordigt. Er is in die lange tijd materiaal afgezet maar dit is even snel weer geërodeerd of alleen maar heen en weer verplaatst. De Midden- tot Boven-Jura-opeenvolging laat een afwisseling van kalk-, zand- en kleistenen zien die samenhangt met veranderingen in de diepte van de zee. Vooral de Midden-Jura bevat relatief veel zandstenen die wijzen op een ondiepe zee waar stormen met enige regelmaat huisielden. Zo volgt op de 'Junction Bed' de 'Bridport Sand Formation' (afb. 19): een heldergeel gekleurde zandsteen die ter hoogte van West Bay en Burton Bradstock prachtige verticale klifwanden vormt met een architectuur van zuilvormige traveeën en een horizontale belijning. De hardere lagen zijn ontstaan door een neerslag van kalkcement tussen de zandkorrels. De regelmatige afwisseling tussen harde en zachte (niet gecementeerde) lagen doet vermoeden dat hier opnieuw een cyclisch proces de oorzaak is. Mogelijk zijn de hardere lagen tijdens stormen afgezet waarbij zand en van elders aangevoerde kalk werden gemengd. Maar het kan ook een diagenetisch proces zijn, waarbij kleine verschillen in de eigenschap-

pen van het onverharde zand tussen boven elkaar gelegen lagen bepaalden of er in een laag wel of geen kalkcement neersloeg. Wat in deze zanden verder opvalt is de afwezigheid van sedimentaire structuren en gelaagdheid, zoals bijvoorbeeld stroom- en golfribbelpatronen. Deze worden vaak gevormd tijdens de afzetting van zand door stromend water of op het oppervlak van een zandige bodem door de waterbeweging van passerende golven daarboven.

Wie bij Burton Bradstock ter hoogte van de monding van de River Bride het strand opgaat, zal een vele meters hoge grindwal zien die het riviertje tegen het klif klem zet. Tijdens stormen wordt hier het grind door de golfslag tot deze enorme hoogte opgeworpen. De bovenste rand van het klif bestaat weer uit een kalksteen: de 'Inferior Oolite Formation'. Dit is opnieuw een fossielrijke kalksteen die afgezet is in een periode van minimale



Afb. 18. Belemnieten en zeeliebestengels uit de Green Ammonite Beds/ Ammonite Beds, Onder-Boven-Pliensbachien (O.-Jura), tussen Seatown en Golden Cap. Foto: Wim Zondag.

sedimentaanvoer zodat enkele meters van dit sediment al een lange geologische tijd vertegenwoordigen. In die paar meter is een grote verscheidenheid aan sedimentaire structuren te zien, zoals graafgangen, onregelmatige erosie-oppervlakken, knolige en ijzerrijke lagen en laagjes volgepakt met één of enkele soorten fossielen. Helaas kan deze formatie niet op zijn locatie bovenaan het klif benaderd worden maar beneden aan het klif liggen de gevallen brokstukken op het strand. Het is een leuke uitdaging om van zo'n los blok te bepalen wat de originele bovenkant is.

Een grote sprong oostwaarts

Inmiddels hebben we ongeveer 80 miljoen jaar aardgeschiedenis doorlopen en konden we de kust vrijwel onafgebroken in oostelijke richting volgen. We slaan nu echter een paar moeilijker te benaderen formaties over. Bovendien is de hele sedimentstapel van Trias tot en met Krijt, zoals we op sommige plaatsen al hebben gezien, niet onaangeroerd gebleven. Krachten in de aardkorst hebben op een aantal plaatsen de lagen ingrijpend vervormd en

Afb. 19. Het East Cliff bij West Bay met de Bridport Sand Formation uit de Onder-Jura (Lias). Foto: Ian West, 2013.



verplaatst. Vandaar de grote sprong oostwaarts naar het klif bij Osmington Mills. Dit betekent ook een sprong vooruit in de tijd, want het gesteente heeft hier een ouderdom van ruim 155 miljoen jaar. Deze gesteenten behoren tot de 'Corallian Group', een gevarieerde groep van zand-, silt- en kleistenen, sommige kalkhoudend, en zuivere kalkstenen uit de Boven-Jura. Deze variatie is voor een deel toe te schrijven aan zeespiegelbewegingen. Vanaf de strandopgang bij Osmington Mills oostwaarts lopend, vallen na een tijdje de enorme ellips- en bolvormige concreties van zandsteen op die in een laag meer of minder uit het klif steken en verder over het strand uitgestrooid lijken te zijn. Ze staan ook wel bekend onder de naam 'Doggers' en vertonen vaak prachtige sedimentaire structuren in de vorm van golvende banden met een inwendige opbouw van reeksen van flauw diagonaal verlopend laagjes. Deze kriskras-gelaagdheid wordt toegeschreven aan stormen. In de ondieptes vóór en in de lagunes achter de kust kon het water tijdens een storm bijzonder turbulent worden. Het in beweging gebrachte bodemsediment werd onder invloed van de hevige waterbewegingen in zwaar golvende lagen afgezet. Boven de bollen is er een afwisseling van zanden met dunnere lagen van klei. Dit gesteentepakket bevat een bijzonder boeiend verschijnsel. Op sommige plaatsen in het zand zijn olievlekken te zien en hier blijkt tussen de zandkorrels olie aanwezig te zijn. De vraag is of dit gesteente in het geologische verleden een diep begraven oliereservoir was. Het zou dan later na omhoogkomen van het gesteente door de erosie zijn aangesneden zodat een deel van de olie kon wegglekken. Of betreft het olie die nog altijd 'vers' toestroomt? In ieder geval is het uitzonderlijk om oog in oog met een (voormalig) oliereservoir te staan, vergelijkbaar met de reservoirs van de olievelden die kilometers diep onder de Noordzee liggen. Ook leuk: met een aansteker proberen een brokstuk van het oliehoudende zand in brand te steken!

Een ander gesteente, eveneens de moeite van het bekijken waard, is kalkooliet, een kalksteen die geheel uit kleine ronde kogeltjes, de oöiden, bestaat. De kogeltjes bestaan uit meerdere bolvormige kalklaagjes, ontstaan doordat de kalk uit het zeewater is neergeslagen, meestal om een kleine kern zoals een zandkorrel of een stukje schelp, in het warme turbulente water van een ondiepe zee. Niet lang na de afzetting van dit gesteente wijzigden de afzettingssomstandigheden in het sedimentatiebekken (de 'Jurassic Sea') zich ingrijpend.

Tijdens de Laat-Jura gaat de onrust in de aardkorst rondom de 'Jurassic Coast' onverminderd door. Het zuidelijke deel van de noordelijke Atlantische Oceaan wordt breder door het verder uiteendrijven van de continenten en ook de bodem van de westelijke Tethys Oceaan, die uit diverse kleinere stukken bestaat, is volop in beweging. Het sedimentatiebekken van de 'Jurassic Sea' laat ook zien dat er een grote verandering heeft plaatsgevonden. De hierboven besproken gesteenten van de 'Corallian group' zijn

in ondiep water afgezet. De 'Kimmeridge Clay Formation' die hierop volgt is duidelijk in dieper water afgezet. Dat is het begin van een nieuwe sedimentatiecyclus in de Jura: van de in dieper water afgezette kleistenen van de 'Kimmeridge Clay Formation', gevolgd door de zandstenen van de 'Portland Sand Formation' en de kalksteen van de 'Portland Stone Formation'. Deze cyclus eindigt ten slotte met de kalkstenen van de 'Purbeck Group', afgezet in ondiep water bij de kust, in lagunes en meren.

In het tweede deel van dit artikel zullen de overige formaties van de Dorset and East Devon World Heritage Coast worden beschreven.

Animaties

<http://jurassiccoast.org/find-out-about/the-formation-of-a-geological-spectacle>

Literatuur

- Brunnsden, D. & A. Goudie 1997: Classic Landforms of the East Dorset Coast. Classic Landform Guide, Geographical Association. 48 p.
- Brunnsden, D. & A. Goudie 1997: Classic Landforms of the West Dorset Coast. Classic Landform Guide, Geographical Association. 56 p.
- Brunnsden, D. (red.) 2003: The Official Guide to the Jurassic Coast. Dorset and East Devon's World Heritage Coast; A Walk Through Time. Coastal Publishing. 64 p.
- Cope, J.C.W. 2012: Geology of the Dorset Coast. Geologists' Association Guide No. 22, Geologists' Association. 232 p.
- Dawes, C. 2003: Fossil Hunting around Lyme Regis. A practical insight into the Jurassic Period. Colin Dawes Studios. 56 p.
- Edmonds, R. 1999: Discover Dorset. Fossils. The Dovecote Press. 79 p.
- Edwards, R.A. 2008: Geology of the Jurassic Coast. The Red Coast Revealed; Exmouth to Lyme Regis. Coastal Publishing. 128 p.
- Ensom, P. 1998: Discover Dorset. Geology. The Dovecote Press. 89 p.
- Ensom, P. & M. Turnbull 2011: Geology of the Jurassic Coast. The Isle of Purbeck; Weymouth to Studland. Coastal Publishing. 128 p.
- Gallois, R.W. 1995: Lulwort Cove Area. Holiday Geology Guide. British Geological Survey.
- Gibbons, W. 1987: Rocks and fossils around Lyme Regis. Holiday Geology Guide. British Geological Survey.
- Gibbons, W. 1987: Scenery and geology around Beer and Seaton. Holiday Geology Guide. British Geological Survey.
- Hart, M. 2009: Dorset and East Devon. Landscape and Geology. The Crowood Press Ltd. 240 p.
- Lord, A.L. & P.G. Davies 2012: Fossils from the Lower Lias of the Dorset Coast. Palaeontology Association. 436 p.
- Mottershead, D. 1997: Classic Landforms of the South Devon Coast. Classic Landform Guide, Geographical Association. 52 p.
- Rijnsberg, Th.F. 1973: Een geologische verkenning van het kustgebied tussen Lyme Regis en Seatown, Dorset, Engeland. Grondboor & Hamer nr. 5
- Taverne, N. 1997: Mudstone concretions. Goed bewaarde ammonieten in het Boven-Kimmeridgien bij Kimmeridge, Zuid-Engeland. Gea 1997 nr. 2

Kaarten

- 1:25.000 Ordnance Survey:
- Nr. 116: Lyme Regis and Bridport
- Nr. OL15: Purbeck and South Dorset

Websites

<http://jurassiccoast.org/>
http://jurassiccoast.org/downloads/jurassic_coast_miniguide.pdf, Jurassic Coast Miniguide Leaflet.
www.worldheritagecoast.net/jurassiccoast.aspx
www.southampton.ac.uk/~imw/
www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/geologyOfBritain/viewer.html; met de 'Geology of Britain viewer' van heel Groot-Brittannië interactief de geologische kaart bekijken + veel meer info.
www.devon.gov.uk/geology
www.ukfossils.co.uk/dorset.htm en <http://www.ukfossils.co.uk/devon.htm>
www.discoveringfossils.co.uk/locations_sw.htm
www.lymeregismuseum.co.uk/
www.dorsetcountymuseum.org/home
www.charmouth.org/chcc/
www.bbc.co.uk/weather/coast_and_sea/tide_tables/8