

De Britse eilanden: een geologische inleiding

door Prof. Dr. A. Brouwer

I. Inleiding

Een geologisch openluchtmuseum, zo kan men de Britse eilanden wel noemen. Geen ander gebied in het westen van Europa is zo rijk aan geologische verschijnselen. Van de ca. 2500 m.j. (miljoen jaar) oude gesteenten van de Hebriden tot de rijk geschakeerde Pleistocene (met Holocene en recente) afzettingen, zijn alle grote eenheden van de geologische tijd vertegenwoordigd. Die gesteenten zelf vertonen ook weer een grote verscheidenheid: magmatische (van de granitische intrusies in Cornwall tot de bazalten van Schotland en Ierland), metamorfe (vooral in Schotland goed vertegenwoordigd) en sedimentaire gesteenten. De laatste weerspiegelen een zeldzame rijkdom aan afzettingssmilieus, van continentale (eolisch, fluviatiel, glaciaal) via de overgang van delta's naar mariene omstandigheden. Vele zijn rijk aan fossielen. Zie afb. 1 en de Stratigrafische tabel.

Ook van allerlei geologische verschijnselen vindt men in de Britse eilanden de sporen terug. De eilanden herbergen overblijfselen van "gebergten" (orogenen) van uiteenlopende ouderdom. Maar niet minder zijn er de sporen van geologische krachten op kleinere schaal te zien: vulkanisme, oude en jonge vergletsjeringen, oude koraalriffen, enz. Daarbij moet dan ook nog bedacht worden dat de lange kustlijn gesteenten en verschijnselen op schitterende wijze in de kliffen voor het oog van de liefhebber openbaart: inderdaad, een geologisch openluchtmuseum.¹⁾

Geen wonder dat Britse geologen van het einde van de achttiende eeuw af in hoge mate tot de ontwikkeling van de geologie hebben bijgedragen. Hun sporen zijn nog altijd duidelijk zichtbaar. De stratigrafie van het Onder-Paleozoïcum en van de Jura (om maar een paar voorbeelden te noemen) berust op hun werk op de Britse eilanden. De Schotse Hooglanden zijn van grote invloed geweest op de opvattingen over de bouw van gebergten in het algemeen.

II. De Prepaleozoïsche geschiedenis

De oudste goed gedateerde gesteenten van de Britse eilanden zijn ca. 2900 m.j. oud en liggen in het uiterste noordwesten van Schotland. Zij behoren tot het Lewisian-complex²⁾ (genoemd naar het grootste eiland van de

Hebriden, Lewis), dat vooral ten noordwesten van de Moine-overschuiving wordt aangetroffen. De jongste elementen ervan zijn 1600 à 1700 m.j. oud. Voor het grootste deel zijn het gneisen, d.w.z. metamorfe gesteenten met granitische samenstelling (veel kwarts en veldspaat). Tussen de gneisen komen vulkanische gesteenten en metamorfe sedimenten (metasedimenten) voor, in mindere mate ook wel basische gesteenten (met weinig of geen kwarts).

Uit radiometrische ouderdomsbepalingen volgt dat het Lewisian-complex een geschiedenis van meer dan 1000 m.j. omvat. Door de graad van metamorfose is die geschiedenis niet gemakkelijk in detail te reconstrueren. Een gebeurtenis die direct in het oog springt is de intrusie van de gangen, die een deel van het complex doorsnijden, een ander deel echter onberoerd laten. De ouderdom van de gangen kan op ca. 2200 m.j. bepaald worden. Zij verdelen het complex duidelijk in twee delen: een ouder, Scourian, en een jonger, Laxfordian, gedeelte. Deze laatste ondergingen aanzienlijke metamorfose 1800 à 1700 m.j. geleden. Uit radiometrische gegevens blijkt dat veel Scourian-gesteenten, die al eerder gemetamorfiseerd waren, daarbij ook weer werden omgewerkt. Zuivere Scourian-gesteenten zijn zodoende schaars. De mooiste ontsluitingen liggen langs de noordwestkust van Schotland, tussen Loch Laxford en Loch Maree.

De Laxfordian-metamorfose werd gevolgd door intrusie van granieten (o.a. op Harris) en van pegmatietgangen, ca. 1800 à 1700 m.j. oud. Dit waren de laatste processen van de Lewisian-geschiedenis, en men mag wel aannemen dat het Lewisian-complex ca. 1600 m.j. geleden gekratoniseerd (verstijfd) was. Sindsdien is het Hebriden-kraton, begrensd door de Moine-overschuiving, een star blok.

Enkele kleine voorkomens van Lewisian-gesteenten ten zuidoosten van de Moine-overschuiving zijn weer meegenomen in de Caledonische bewegingen (zie III), en er is wel reden om aan te nemen dat een aanzienlijk deel van het noorden van Groot-Brittannië op een ondergrond van omgewerkt Scourian rust.

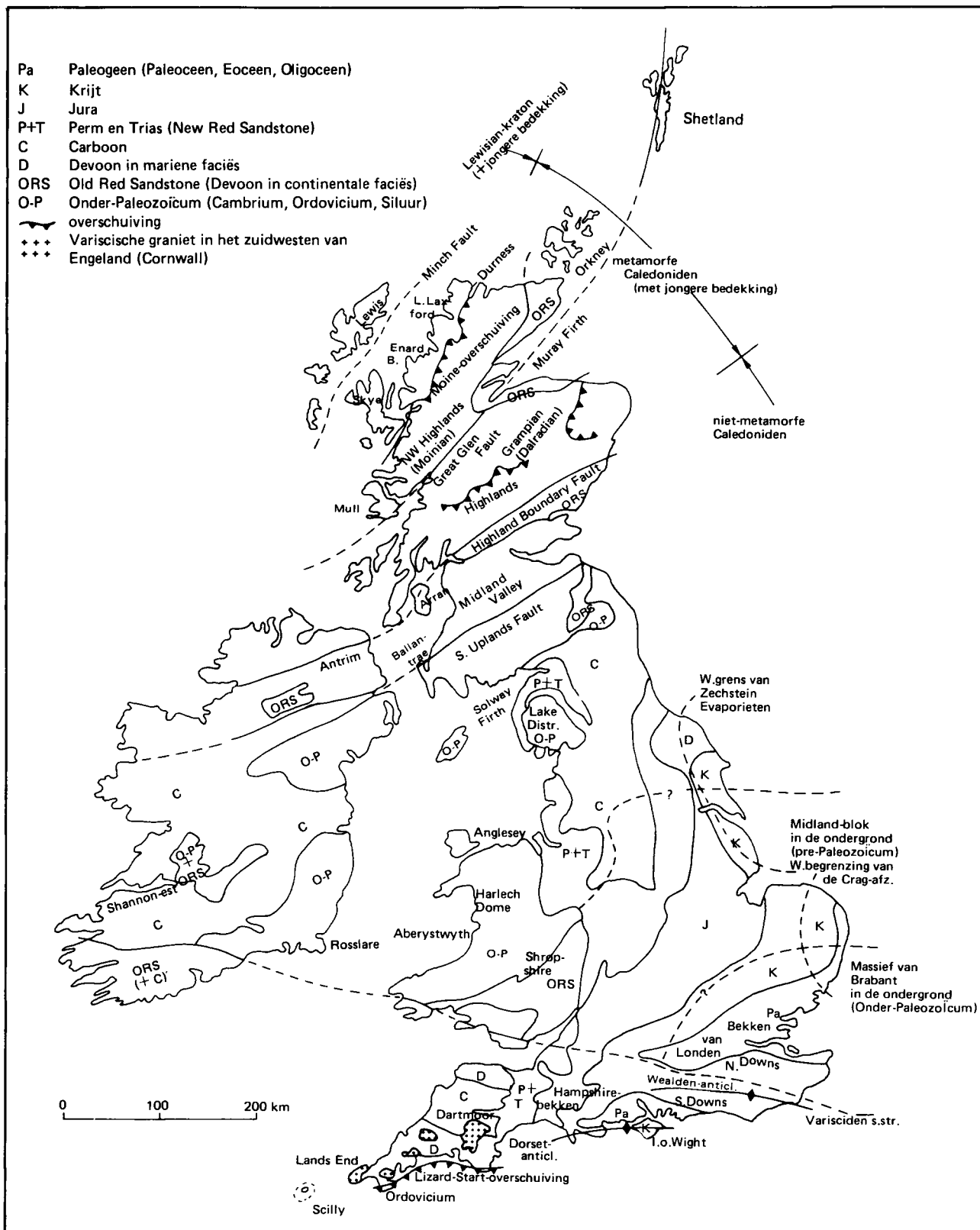
Het Lewisian-complex van het Hebriden-kraton wordt bedekt door een dik pakket (ca. 9 km) van min of meer horizontaal liggende, niet-metamorfe sedimenten; het Torridonian, of de Torridonian-Supergroep. De vorming ervan ligt tussen ca. 1000 en 700 m.j. geleden. Er gaapt dus een groot hiaat tussen het einde van het Lewisian-complex en het begin van het Torridonian. De Torridonian-Supergroep bestaat hoofdzakelijk uit fluviatiele zandstenen, waarvan het materiaal uit westelijke tot noordwestelijke richting werd aangevoerd. Eén van de belangrijkste bestanddelen is de 2-3 km dikke Applecross-Formatie, die met prachtige voorbeelden van fluviatiele scheve gelaagdheid een groot deel van de schiereilanden tussen Enard Bay en Skye vormt.

Buiten Schotland zijn Prepaleozoïsche gesteenten aan de oppervlakte van de Britse eilanden van weinig betekenis. Gesteenten van Archeïsche ouderdom zijn zelfs niet met

¹⁾ Een waarschuwing is hier op haar plaats. Grote delen van klifkusten zijn slechts begaanbaar gedurende enige uren voor en enige uren na laag water. Men informere ter plaatse en vergeet zich van de mogelijkheid de kust bijtijds te verlaten (de toegangen liggen soms ver uit elkaar), of men kere terug. Sommige kustgedeelten zijn moeilijk begaanbaar door grote blokken, door in zee uitlopende hoge richels, of door gladde, met wieren of andere planten begroeide gesteenten. Aan de voet van een klif dreigt altijd gevaar door vallende brokken steen. Met gebruik van hamer (en beitel) neemt dit gevaar nog sterk toe.

²⁾ De Engelse termen van regionale betekenis zijn hier veelal niet vertaald, waardoor het gebruik van Engelstalige literatuur wellicht vergemakkelijkt wordt.

vervolg op pag. 4



Afb. 1. Geologische en structurele schetskaart van de Britse eilanden.

Met uitzondering van de mariene Plio-Pleistocene Crag-afzettingen in East Anglia, zijn de Pleistocene (en Holocene) afzettingen van wisselende dikte en karakter buiten beschouwing gelaten. Kenozoïcum is beperkt tot het Paleogeen in het Bekken van London en het Hampshire-bekken.

Voor het overige geeft de kaart de oppervlakte van het Mesozoïcum in Engeland en van het Paleozoïcum en het pre-Paleozoïcum verder naar het noordwesten. De kaart geeft alleen de hoofdlijnen van de geologie en van de structuur. Om het beeld niet te vertroebelen zijn details, zoals Jura in Schotland, kleinere erosieresten van de Old Red Sandstone, enz., niet aangegeven. Om dezelfde reden zijn de vele Caledonische granietintrusies, vooral in Schotland, weggelaten.

zekerheid bekend, al kunnen enkele kleine voorkomens in het zuidoosten van Ierland (bij Rosslare) en op de Kanaal-eilanden wel van Archeïsche oorsprong zijn. Uit het laatste deel van het Proterozoïcum, jonger dan 1000 m.j., komen in Wales gesteenten voor. Zij zijn ook in enige boringen in de Midlands aangetroffen. Nauw betrokken bij de geschiedenis van de Caledonische geosynclinale, komen zij in het volgende hoofdstuk aan de orde.

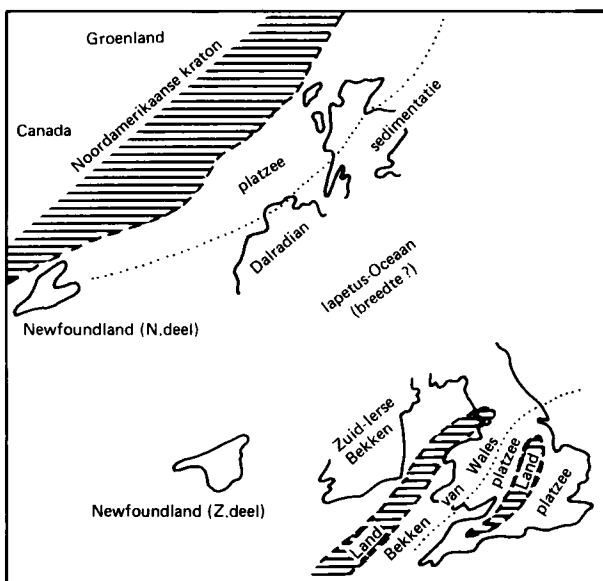
III. De Caledonische ontwikkeling

De Iapetus-oceaan

De Caledonische ontwikkeling strekt zich uit van het laatste deel van het Proterozoïcum tot het midden van het Paleozoïcum, een interval van 400 m.j. dat meer dan enig ander zijn stempel heeft gedrukt op het geologische beeld van de Britse eilanden. Misschien moet men zelfs zeggen dat de Britse eilanden pas toen als een eenheid zijn ontstaan. Met de vorming van de Caledoniden als een geplooid gebergteketen werden het noordelijke en het zuidelijke deel van de Britse eilanden voorgoed aan elkaar gesmeed. Afb. 2.

Tegenwoordig worden het ontstaan van de Caledoniden en de voorgeschiedenis ervan, samengevat als Caledonische ontwikkeling, algemeen beschouwd als goed te passen in de theorie van de schollentektoniek. De hele ontwikkeling — met haar sedimentaire, magmatische, metamorfe en tektonische aspecten — wordt dan verklaard in samenhang met de opening en vervolgens de sluiting van een oceaan. In deze gedachtegang zijn het Hebriden-kraton en het Midland-kraton delen van twee begrenzend continenten, waartussen zich de oceanische geschiedenis afspeelde.

Afb. 2. De Iapetus-oceaan in het Onder-Cambrium. De Britse eilanden zijn ter oriëntatie aangegeven, maar bestonden toen natuurlijk nog niet in hun huidige gedaante, het is zelfs de vraag of de twee delen toen al op deze wijze tegenover elkaar lagen.



Argumenten van uiteenlopende aard ondersteunen een schollentektonische verklaring van de Caledonische ontwikkeling. Geen van deze argumenten bezit op zichzelf beschouwd voldoende bewijskracht, maar in hun onderlinge verband leiden zij tot een elegante verklaring. Eén van de eerste argumenten om het bestaan van deze verdwenen oceaan te bewijzen is van faunistische aard. Cambrische en Onder- en Middenordovicische fauna's vertonen duidelijke verschillen tussen de vindplaatsen in Schotland en het noorden van Ierland aan de ene kant, en die in Engeland, Wales en zuidelijk Ierland aan de andere kant. Dit geldt b.v. voor de trilobieten en de brachiopoden, en ook voor de graptolieten, al zou men verwachten dat voor de laatstgenoemde groep, met een pelagische leefwijze, een oceaan geen grote barrière in de verspreiding vormt. De verschillen tussen de twee biogeografische provincies (die wel als Atlantische en Amerikaanse of Pacificse provincies worden aangeduid) zijn bijzonder markant in het Midden-Ordovicium en nemen dan geleidelijk af om in de loop van het Siluur vrijwel te verdwijnen. De kenmerken van de sedimenten zijn ook goed te rijmen met de aanwezigheid van een oceaan: afzettingen in ondiep water op de kratons (vaak met sporen van krachtige getijdewerking), overgaande in afzettingen, ontstaan op de helling van continent (kraton) naar oceaan. Typische oceanische afzettingen zijn schaars: zij zijn in de opslokkingszones ("subductiezones") naar de diepte verdwenen, al zijn af en toe wel eens plakken in de orogene zone geschoven. Dat zulke opslokkingszones in het spel zijn wordt weer bevestigd door sommige metamorfe gesteenten, waarvan de mineralogische samenstelling omstandigheden van hoge druk en (betrekkelijk!) lage temperatuur weerspiegelt. Tenslotte wijzen ofiolieten en daarmee verwante ultramafische gesteenten (arm aan SiO_2), die gewoonlijk met herkomst uit de mantel in verband worden gebracht, op de aanwezigheid van een oceaan.

Paleomagnetische gegevens hebben tot dusverre niet al te veel bijgedragen om het bestaan van de Iapetus-oceaan te ondersteunen.³⁾ Onderordovicische poolposities wijzen wel op een oceaan die zo'n 1000 km breed kan zijn geweest. Verder maken zij duidelijk dat er van het Devoon af belangrijke horizontale bewegingen langs sommige Schotse breuken (o.a. de Great Glen Fault) moeten hebben plaatsgevonden. Eén van de moeilijkheden is dat de paleomagnetische gegevens wel de geografische breedte, maar niet de lengte opleveren.

Alles bij elkaar genomen, zijn er voldoende argumenten om het model van de schollentektoniek voor de Caledonische geschiedenis te aanvaarden. Veel zeer uiteenlopende verschijnselen krijgen daarmee een plaats in een groter verband van gebeurtenissen.

De beschikbare gegevens maken waarschijnlijk dat de opening plaats vond tegen het einde van het Proterozoïcum en vooraf werd gegaan door geruime tijd van rek in de korst met vorming van breuken. De Iapetus-oceaan bereikte zijn grootste breedte in de loop van het Ordovicium. Over de vraag hoe breed de oceaan toen was lopen de meningen uiteen. Nog voor het einde van het Ordovicium begonnen de begrenzend continenten, met de vorming van de opslokkingszones, over de oceanbodem naar elkaar toe te schuiven. Aan de Schotse kant leidde dat tot de belangrijke Grampian-fase van de Caledonische oroge-

³⁾ Een tijdlang is de naam Proto-atlantische oceaan gebruikt, maar om verwarring met de eerste stadia van de tegenwoordige Atlantische Oceaan te vermijden, is later de naam Iapetus of Iapetus-oceaan ingevoerd (genoemd naar één der Titanen, de kinderen van Uranus en Gaia; Iapetus was de vader van Atlas en Prometheus).

nese. Tegen het einde van het Siluur botsten de continenten tegen elkaar. Waar nu precies de "soldeernaad" loopt die de beide helften van de Britse eilanden aaneen-smeedde, is moeilijk te zeggen. Een lijn die van het westen van Ierland door het Shannon-estuarium in noordoostelijke richting door de Solway Firth loopt, komt het meest in aanmerking. Het verdere verloop is niet duidelijk, maar kan niet ver van de grens tussen Schotland en Engeland liggen.

De noordelijke rand

Door breuken wordt Schotland in een aantal stroken verdeeld, die wat gesteenten en structuur betreft onderling grote verschillen laten zien.

Ten noordwesten van de Moine-overschuiving, dus buiten de Caledoniden, liggen op het Torridonian, of waar dit ontbreekt direct op het Lewisian-complex, nog overblijfselen van een dunne en onvolledige bedekking van Cambri-sche en Ordovicische sedimenten. Hiertoe behoort o.a. de Durness-kalksteen in het noordwesten.

Voorbij de Moine-overschuiving komen wij in de sterk geplooid en metamorfe Caledoniden van de Schotse Hooglanden. Tussen de Moine-overschuiving en de Great Glen Fault wordt het beeld beheerst door de gesteenten van de Moine-opeenvolging, een tot 7 km dik pakket, hoofdzakelijk bestaande uit metasedimenten. Het zijn afzettingen van ondiep water, gedeeltelijk in de vorm van delta's, ontstaan langs de rand van het Hebriden-kraton. Radiometrische ouderdommen, 1000 (? 1200)-800 m.j., wijzen erop dat zij gedeeltelijk even oud zijn als het Torridonian.

Tussen de Great Glen Fault en de Highland Boundary Fault ligt op de Moine het dikke pakket (ca. 8 km) van het Dalradian. In vergelijking met de Moine-opeenvolging vertonen vooral Midden- en Boven-Dalradian met grau-wacken en vulkanische gesteenten de sporen van een veel mobieler sedimentatiegebied. De bovengrens van het Dalradian ligt in het Cambrium.

Aan de basis van het Midden-Dalradian ligt de Port Askaig-tilliet, een tot 700 m dik glaciaal complex, met enige tientallen morene lagen, en verder varven en andere smelt-waterafzettingen. Het complex vormt niet alleen een bruikbaar stratigrafisch gidsniveau, dat van Banff via Islay tot in Ierland kan worden vervolgd, maar is ook interessant om een andere reden. Zowel onder als boven het tilliet-complex komen dolomieten en kalken met stromatolieten voor, die worden geïnterpreteerd als afzettingen in een warme zee. Dit wordt ondersteund door paleomagnetische gegevens die erop wijzen dat Schotland toen op ca. 15° zuiderbreedte lag. Sporen van even oude vergletsjeringen (ca. 700-650 m.j.) zijn overigens ook op andere continenten bekend.

De Schotse Hooglanden tussen de Moine-overschuiving en de Highland Boundary Fault bezitten een gecompliceerde tektonische bouw, die zij in het Onder-Ordovicium hebben gekregen. Deze Grampian-fase van de Caledonische orogenese ging gepaard met metamorfose en magmatische intrusies.

In het Midden-Ordovicium vormden de Schotse Hooglan-den een hoogliggend gebergte, waarvan grote hoevee-lheden afbraakmateriaal verder naar het zuidoosten in het gebied van de Midland Valley en de Southern Uplands werden afgezet. Dit sedimentatiegebied aan de noord-westelijke rand van de Iapetus-oceaan werd een onrustig gebied. De Iapetus-oceaan werd een zich sluitende oceaan: de oceaanbodem schoof in noordwestelijke richting onder het begrenzend kraton. Er ontwikkelde zich een opslok-kingszone ergens aan de zuidoostelijke rand van de Mid-land Valley; mogelijk lag er een tweede nog iets verder naar het zuidoosten.

De grote mobiliteit die het Ordovicium kenmerkt is duidelijk weerspiegeld in het patroon van de sedimentatie en in het grote aandeel van vulkanische gesteenten. Langs de helling tussen continent en oceaan werden kilometers dikke turbidietafzettingen, dikwijls met overvloedig vulkanisch materiaal, neergelegd. Buiten het bereik van de troebelingsstromen, die hiervoor verantwoordelijk waren, kwamen in dieper en rustiger water fijnkorrelige sedimen-ten (schalies e.d.) met graptolieten tot afzetting. Naarmate de oceaan zich verder sloot, breidden de turbidieten zich in het Siluur gedeeltelijk over deze diepwatersedimenten uit. Aan de westkust van Schotland, juist ten noorden van de Southern Upland Fault, stelt het ofiolietcomplex van Ballantrae waarschijnlijk een opgeschoven plak oceaan-bodem voor.

Het Onder-Paleozoïcum van de Midland Valley en de Southern Uplands werd omstreeks de overgang van Siluur naar Devoon, met de sluiting van de Iapetus-oceaan, wel intensief geplooid, maar de metamorfose bleef van beperk-te betekenis. In deze gebieden liggen dan ook verscheidene klassieke vindplaatsen van graptolieten, die zoveel hebben bijgedragen tot de stratigrafische indeling van Ordovicium en Siluur.

De zuidelijke rand

In sommige opzichten vertonen de Caledonische gesteenten van de zuidelijke rand van de Iapetus het spiegelbeeld van de noordelijke rand; in andere opzichten bestaan er duidelijke verschillen. Overeenkomst is er vooral in het algemene sedimentaire patroon. Op het Midland-kraton ligt een dunne bedekking van Cambri-sche tot Silurische sedimenten, met verscheidene onderbrekingen. Zij zijn in ondiep water afgezet: zandstenen, kleistenen of schalies, en soms ook kalken, zoals de Silurische kalken van de Wenlock Edge met rifachtige structuren in de vorm van z.g. "ballstones". Naar het noordwesten gaan zij over in een tot 10 km dik pakket waarin turbidieten (o.a. Cambri-sche in de Harlech Dome, Silurische bij Aberyst-wyth) en donkere schalies met graptolieten de overhand hebben. Men stelt deze als "Welsh facies" of "graptolieten-faciës" tegenover de "Shropshire-facies" of "shelly facies" (wegens het dominerende aandeel van brachiopoden en trilobieten in de fauna van de laatste). Verder naar het noorden komen Onderpaleozoïsche gesteenten, alleen van Ordovicische en Silurische ouderdom, weer aan de opper-vlakte in het Lake District. Door hun grote dikte, ca. 10 km, en hun samenstelling vertonen zij overeenkomst met het beeld in de Southern Uplands, juist aan de over-zijde van de suture waarlangs de Iapetus tenslotte gesloten werd.

Versillen in de ontwikkeling aan weerszijden van de oceaan bestaan in de tektonische en de vulkanische activiteit. In het zuiden is er een duidelijke discordantie aan de basis van het Paleozoïcum, een weerspiegeling van de Laatproterozoïsche Keltische fase van de Caledonische orogenese. In het noorden voltrekt de overgang van Proterozoïcum naar het Paleozoïcum zich zonder onder-brekingen in het Dalradian. Daarentegen is er in het zuiden geen spoor van de in het noorden zo belangrijke Grampian-fase. De belangrijkste episodes van vulkanische activiteit vallen in het zuiden in het laatste deel van het Proterozoïcum en in het Ordovicium, vooral in het Boven-Ordovicium. Zowel onderzees uitgevloeiende kussen-lava's ("pillow lavas") tussen de sedimenten, als grote hoeveelheden pyroklastisch materiaal in de sedimenten, zijn er het gevolg van.

vervolg op pag. 7

**GEOLOGISCHE
TIJDSCHAAL**

GEOLOGISCHE TIJDSCHAAL									
FANEROZOÏCUM		MESOZOÏCUM		PROTEROZOÏCUM		ARCHEÏCUM			

Het einde van de Iapetus

Het naar elkaar toe bewegen van de beide begrenzende continenten sinds het Ordovicium wordt door talrijke verschijnselen gedemonstreerd. Omstreeks de overgang van Siluur naar Devoon botsten zij tenslotte. Mogelijk gebeurde dat in het noordoosten (Schotland) iets eerder dan in het zuidwesten (Ierland). In Shropshire laten inschakelingen van continentale laagjes van brakwaterafzettingen in het bovenste Siluur het wegebben van de mariene invloed zien. In het noorden van Wales is er nauwelijks Boven-Siluur, maar dit kan gedeeltelijk het gevolg zijn van erosie. Hetzelfde geldt voor het zuiden van Ierland.

Met de laatste fasen van de deformatie begon de opheffing van het Caledonische orogeen tot een gebergte. Verwering en erosie deden hun werk, grote hoeveelheden afbraakmateriaal kwamen beschikbaar en werden in en om het jonge gebergte opgehoopt: de "Old Red Sandstone". "Old" als tegenstelling tot de "New Red Sandstone" van Perm en Trias, "Red" wegens de veelal rode kleur van de afzettingen. Overigens is de kleur niet altijd rood, en naast zandstenen komen zowel fijnere als grovere sedimenten voor (klei- en siltstenen, resp. conglomeraten). De grote dikte, tot meer dan 8 km, wijst op snel dalende bekkens. Volkomen rust was er nog niet, dat wordt onderstreept door de lavapakketten tussen de sedimenten en door hoekdiscordanties binnen de Old Red Sandstone. In algemene termen is de ouderdom Devonisch. De afzetting volgt direct op de voltooiing van het orogeen: het is een echte molasse, d.w.z. een posttektonisch sediment, dat in zijn ontstaan verbonden is met het orogeen en het slothoofdstuk van de orogene geschiedenis in ruime zin vertegenwoordigt.

De belangrijkste Old Red Sandstone-bekken zijn het Orcadische bekken (om de Moray Firth, met voortzetting op de Orkney- en de Shetland-eilanden), het Midland Valley-bekken (met zijn voortzetting in Ierland), het Border-bekken (op de grens van Schotland en Engeland) en het bekken van Wales en zuidelijk Ierland. Het laatste bekken neemt in zoverre een bijzondere plaats in dat de continentale afzettingen naar het zuiden geleidelijk overgaan in het mariene Devoon van zuidwestelijk Engeland (zie IV).

Fossielen zijn schaars — primitieve landplanten en vooral overblijfselen van vissen — en dat bemoeilijkt de nauwkeurige stratigrafische vergelijking van de bekkens onderling en van de Old Red Sandstone als geheel met de standaard

van het mariene Devoon. In grote trekken kan men zeggen dat het middengedeelte in de Midland Valley ontbreekt; het bovenste deel rust daar discordant op het onderste deel. In het Orcadische bekken is juist het middelste deel goed ontwikkeld, met prachtige profielen langs de Schotse noordkust in Caithness (ca 5 km dik). De volledigste opeenvolging ligt in Ierland, o.a. in de omgeving van Dingle Bay.

IV. De Variscische ontwikkeling

Mariene Devoon in het zuidwesten

Het grootste deel van de Britse eilanden werd in het begin van het Devoon een landgebied, het westelijke deel van wat wel als het Old Red (Sandstone)-continent wordt aangeduid.

De afzetting van de zee die aan de zuidkant dit vasteland begrenste vinden wij nu aan de oppervlakte in het zuidwesten van Engeland (Cornwall, Devonshire, Somerset) en verder naar het oosten ook in de Ardennen en de Rijngebirgen. Met een kustvlakte ging het Old Red-bekken van Wales in de ondiepe rand van die zee over. De kustlijn schoof in de loop van het Devoon heen en weer, zodat het Devoon van Devonshire uit een afwisseling van mariene en continentale afzettingen bestaat. Aan de zuidkant van Devonshire is er slechts één continentaal pakket (de Onderdevonische Dartmouth Slates), maar aan de noordkust zijn er bovendien nog twee hoger in het Devoon (de Middendevonische Hangman Grits en de Pickwell Down Sandstone van Famennien-ouderdom). Een kleine transgressie tussen de laatste twee bracht mariene afzettingen tot in het zuiden van Wales.

Allerlei verschijnselen in de mariene sedimenten: klei- en siltstenen met zandsteenlaagjes, wijzen op een ondiepe zee: ribbels, gelamineerde gelaagdheid, graafgangen, enz. Fossielen zijn in het algemeen niet overvloedig, al bevatten sommige laagjes plaatselijk veel brachiopoden en pelecypoden (tweekleppige schelpen). Ingeschakelde tuffen en lava's wijzen op vulkanische activiteit.

In het Midden-Devoon, tegen het einde van het Eifelian, ontwikkelde zich in het zuiden een gebied met overvloedige groei van koralen en stromatoporen, dat tot in het Frasnien standhield. Waarschijnlijk bestond er in het zuiden een barrièrerif (Torquay Limestone, Plymouth Limestone), dat door een lagune gescheiden was van het land verder naar het noorden. Door toenemende waterdiepte verdrong het rif in het Frasnien; het wordt bedekt door fijnkorrelige afzettingen met goniatieten en conodonten. Hoog in het Frasnien is er dan aan de noordkant, vlak onder de kust, nog een laatste overblijfsel van rifgroei. Terwijl in het zuiden van Devonshire koraalgroei inzette, kwam Cornwall in een dieper deel van het bekken te liggen, met hoofdzakelijk fijnkorrelige afzettingen en overvloedige inschakelingen van vulkanisch materiaal. De basis van het Devoon is in zuidwestelijk Engeland niet zichtbaar; alleen aan de zuidkust van Cornwall komen Ordovicische kwartsieten (met trilobieten) voor.

De Carbonische transgressie

Terwijl de kustlijn tijdens het Devoon over een beperkt gebied heen en weer schoof, zette tegen het einde van die periode een krachtige en snelle transgressie in, die de zee al spoedig tot in Schotland bracht. Daarmee verdween het grootste deel van de Britse eilanden onder water. In de loop van het Carboon trok de zee ook weer terug, maar er bleven dalende bekkens bestaan waarin dikke pakketten van continentale sedimenten, met koollagen, tot ontwikkeling kwamen. Carbonische afzettingen zijn aan de oppervlakte en in de ondergrond van de Britse eilanden

Stratigrafische tabel

Geologische tijdschaal met de belangrijkste gebeurtenissen in de Britse eilanden. De verticale schaal is chronometrisch (zie de schaalstok): de hoogte van de onderscheiden eenheden is evenredig met haar tijdsduur. Men bedenke daarbij dat de radiometrische ouderdommen, vooral van de grenzen tussen eenheden van lagere orde, nog veel te wensen overlaten. De namen van tijden, corresponderend met etages, zijn weggelaten indien zij in de tekst niet gebruikt zijn (b.v. in het Kenozoïcum), voor de Britse stratigrafie van weinig belang zijn (b.v. in Perm en Trias), of nog weinig gebruikt worden (in het Onder-Paleozoïcum). De radiometrische ouderdommen zijn ontleend aan W.B. Harland & al., A geologic time scale (Cambridge University Press 1982).

wijdverbreid en bezitten een verscheidenheid van faciës zoals zelden binnen een enkel systeem voorkomt.

In Devonshire gaat het Devoon geleidelijk in het Carboon over. Fijnkorrelige sedimenten met kalklaagjes en hoger ook radiolarieten bepalen het beeld van het Onder-Carboon. De radiolarieten wijzen op dieper water, evenals erboven liggende Namurien-turbidieten.

Het Westfalen bestaat uit zandstenen en schalies, gedeeltelijk afgezet als uit het noorden binnendringende delta's. Het hele Carboon van zuidwestelijk Engeland wordt dikwijls als Culm aangeduid, een term die afgeleid is van koolstofhoudende schalies die hier en daar in het Boven-carbonische deel voorkomen⁴).

Toen de Ondercarbonische zee uit het zuiden over het Old Red-continent transgredeerde, was het Caledonische gebergte goeddeels versleten. Maar dit wil niet zeggen dat het gebied zonder reliëf was: hier en daar lagen nog hogere delen die weerstand boden aan de transgressie. Daar was in de eerste plaats St. George's Land, een overblijfsel van de Caledoniden in Wales, met het Leinster-blok als voortzetting in Ierland. Tot in Schotland toe lag nog een aantal van dergelijke blokken, gescheiden door "bekkens". Een deel van dit mozaïek is zeker door breuken bepaald. Afb. 3.

De transgressie ging soms om de blokken heen. Delen van St. George's Land verdwenen pas laat in het Onder-Carboon onder zee, hoewel we weten dat de transgressie al veel eerder de Northumberland-trog had bereikt.

Het Southern Uplands-blok vormde geruime tijd een effectieve barrière voor de transgrederende zee. Het gevolg is dat de sedimentatie in de Midland Valley lange tijd een continentaal karakter behield. Niet toevallig liggen daar al in het Onder-Carboon ontginbare koollagen.

Kalkstenen van uiteenlopende typen vormen het belangrijkste bestanddeel van de Ondercarbonische sedimenten (behalve in het Culm-bekken in het zuidwesten). Maar ook schalies en zandstenen, dikwijls duidelijk gebonden aan van hoger land afkomstige rivieren, komen veelvuldig voor. Het faciëspatroon is zodoende ingewikkeld. In het algemeen hebben de dikkere bekkenafzettingen meer schalies dan de dunnere afzettingen op de blokken.

Op verschillende plaatsen in Midden-Engeland (Clitheroe, Cracoe, Derbyshire) en in Ierland komen knollenriffen voor, die hun ontstaan vermoedelijk danken aan sedimentbinding door algen. Door een iets grotere resistentie in vergelijking met het omringende sediment komen zij als ronde heuvels in het landschap tevoorschijn.

Met de overgang van Onder-Carboon naar Boven-Carboon voltrokken zich allerlei veranderingen, waarvan de vervanging van kalksteen door zandsteen (de "Millstone Grit" = ongeveer Namurien) het eerst in het oog springt. Opheffing van sommige blokken gaf een nieuwe impuls aan de erosie en leidde tot krachtige zandaanvoer. Vooral in het noorden en het midden van Engeland ontwikkelden zich grote delta's van uit het noorden komende rivieren. In ieder geval ten dele voerden zij nog weer Caledonisch afbraakmateriaal aan. Doorgaande aanvoer leidde ertoe dat de delta's geleidelijk naar het zuiden opschoven, waardoor de mariene invloed verder werd teruggedrongen. Schommelingen van het zeeniveau brachten de zee nog herhaaldelijk, zij het kortstondig, over de delta's heen. Er ontstaat dan een sedimentatiebeeld dat een zekere cycliciteit vertoont.

Bijzonder mooi is zo'n cycliciteit ontwikkeld in de Yoredale-faciës, b.v. in Wensleydale (het dal van de rivier de Ure, in Noord-Yorkshire). In zijn volledigste vorm bestaat een cyclus van boven naar beneden uit:

dunne koollaag
zandsteen met scheve gelaagdheid, bovenin een wortelzone
schalies zonder fossielen
schalies — met mariene fauna
kalksteen —

De typische Yoredale-faciës begint al in het bovenste deel van het Onder-Carboon. Een vergelijkbare cycliciteit komt op tal van plaatsen voor, in het algemeen meer in het Namurien dan in het Onder-Carboon.

Verdere opheffing bracht St. George's Land in verbinding met het eveneens Caledonische Massief van Brabant. Aan de zuidkant van St. George's Land werd een deel van het afbraakmateriaal als delta's neergelegd in het zuiden van Wales, een deel gleed in troebelingsstromen in het mariene bekken van Devonshire, waar de turbidietafzetting in afnemende mate tot in het Westfalen doorging.

Elders in Groot-Brittannië nam de mariene invloed na het Namurien verder af. In uitgestrekte, laag gelegen gebieden aan weerszijden van St. George's Land ontwikkelde zich in het vochtige en warme klimaat een overvloedige vegetatie, waarvan de overblijfselen nu als koollagen in de continentale sedimenten liggen. Door de wisselende loop der rivieren en de doorgaande daling van de ondergrond werd de vegetatie ook telkens weer door nieuwe lagen klei en zand bedekt. Af en toe drong de zee nog weer tijdens kortstondige transgressies naar binnen. De daarbij ontstane dunne mariene lagen (o.a. met goniatiëten) leveren door hun grote uitgestrektheid uitstekende gidsniveaus voor correlaties op. De dikte van het Westfalen (Coal Measures in de Engelse terminologie) geeft een indruk van de mate van daling, b.v. meer dan 3000 m in de Penninische kolenvelden, 2400 m in zuidelijk Wales.

De Variscische orogenese

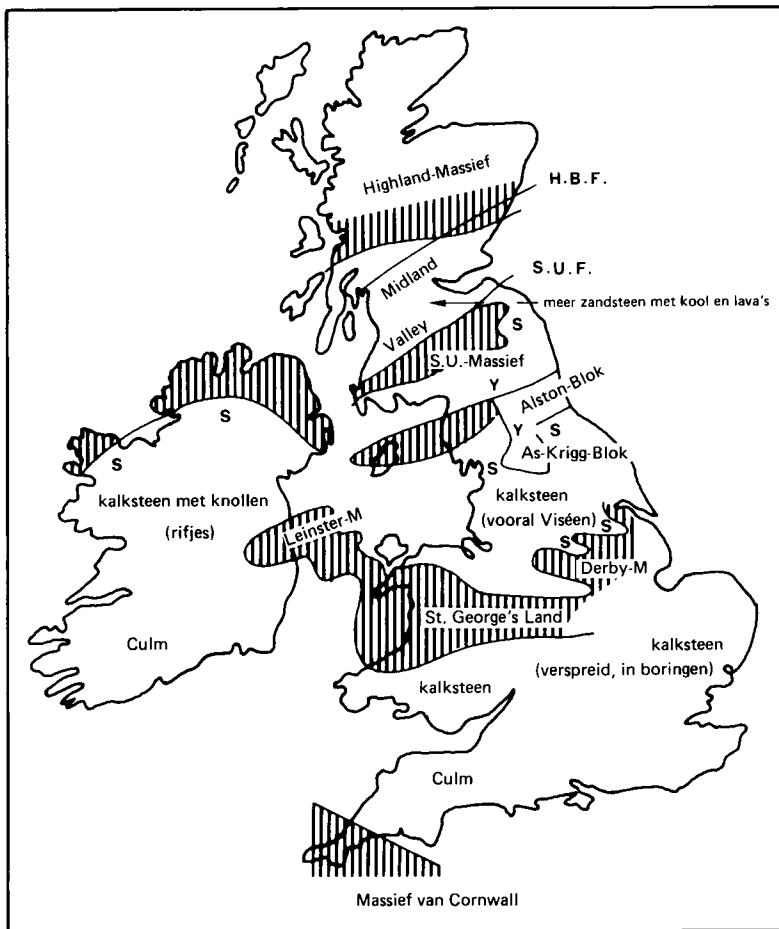
Variscische bewegingen bepalen een groot deel van het beeld van het vasteland van Europa en de Britse eilanden in het noorden tot het Iberische schiereiland in het zuiden, en van de Atlantische Oceaan in het westen tot de rand van de Russische tafel in het oosten. Uit het oogpunt van een schollentektonische interpretatie levert dit gebied nog altijd grote moeilijkheden op. Centraal staat daarbij de vraag of er in het Boven-Paleozoïcum een Middeneuropese oceaan bestond. Het is niet nodig ons in die problemen te verdiepen, want de Britse eilanden nemen een marginale plaats binnen de Europese Varisciden in. Slechts het zuidelijkste deel van Engeland en Ierland behoort tot de noordelijke tak van de Varisciden, waartoe verder naar het oosten ook de Ardennen, de Rijngebergten en de Harz behoren.

Een groot deel van zuidwestelijk Engeland wordt beheerst door de synclinale structuur die in het noorden en in het zuiden Devoon aan de oppervlakte bevat, terwijl daartussen in het centrale deel Carboon de oppervlakte vormt. Het Westfalen, dat niet volledig is, is nog meegeplooid, zodat de plooiing niet eerder dan in het laatste deel van het Westfalen kan hebben plaatsgehad.

Ten zuiden van deze brede synclinale structuur ligt in Cornwall een gebied met een bijzonder gecompliceerde structuur die al eerder in het Carboon moet zijn ontstaan. In enkele opgeschoven plakken is op grond van trilobieten de aanwezigheid aangetoond van Ordovicium, dat overigens in het zuidwesten van Engeland onbekend is.

Het beeld is verder beïnvloed door het binnendringen van een grote granietbatholiet 295 à 300 m.j. geleden (Boven-Carboon). Vijf grote granietvoorkomens aan de oppervlak-

⁴) In Groot-Brittannië heeft de term Culm dus vooral een geografische beperking. Om misverstand te voorkomen is het goed erop te wijzen dat de Duitse term Kulm wordt gebruikt voor de klastische faciës (zanden, schalies, ook turbidieten) van het Onder-Carboon, in tegenstelling tot de kalkfaciës (Kolenkalk).



Afb. 3. Ondercarbonische massieven (verticale arcering) en sedimenten (s=schalie, soms ook met zandsteen langs de randen van massieven; Y=Yoredale-faciës). Het Askriggblok wordt aan de zuidkant begrensd door de Craven-breuk; ten zuiden hiervan, in de overgang naar de schalies van het Bowland-bekken, komen talrijke knollenrifjes voor.

te zijn er de hoogste delen van, van Dartmoor (de grootste) in het oosten tot Land's End in het westen. Zie afb. 2 op pag. 15. Nog verder westelijk bestaan ook de Scilly-eilanden uit deze graniet. Veel gangen, vaak met interessante mineralen en ertsen (o.a. tin), staan met deze grote intrusie direct in verband.

Verder naar het noorden, d.w.z. ten noorden van een lijn die ongeveer over Bristol en Londen loopt, is er nog invloed van Variscische bewegingen, maar van een orogeen kan men niet meer spreken. Plooiën, van uiteenlopende strekking, en bewegingen langs breuken weerspiegelen de invloed van druk op een gebied dat al eerder in blokken en bekkens was verdeeld. Permische en jongere afzettingen rusten dan ook bijna altijd met een hoekdiscordantie op Carboon.

Eén van de belangrijkste bewegingen in dit deel van Engeland is de welving langs de Penninische as. Over grote gebieden kwam daardoor het Onder-Carboon (kalk !) weer aan de oppervlakte te liggen. De kolenvelden ten noorden van St. George's Land werden in een westelijk (Lancashire) en een oostelijk deel (Yorkshire en East Midlands) gescheiden. Het Penninische gebergte vormt de ruggengraat van het smalle deel van Engeland.

V. De Postvariscische ontwikkeling

Permo-Trias

De Variscische bewegingen brachten grote veranderingen teweeg. Niet alleen werd het zuiden van Engeland en van Ierland, het enige stuk van een echt orogeen, opgeheven,

ook verder naar het noorden kwam, vooral door bewegingen langs gereactiveerde oude breuken, nieuw reliëf tot stand. Een krachtige impuls aan de erosie leidde tot een grondige verandering van het rustige sedimentatiebeeld van het Boven-Carboon.

Deze veranderingen gingen gepaard met een geleidelijke opschuiving van de Britse eilanden (en grote delen van Europa) naar het noorden, waardoor de eilanden van de vochtige tropen (met de weelderige vegetatie van het Boven-Carboon) in een warme en droge klimaatgordel kwamen te liggen. In veel opzichten vertoont het sedimentatiebeeld van Perm en Trias overeenkomst met wat men in de hedendaagse woestijn gordel ziet.

De eerste Permische afzettingen zijn conglomeraten, verder van de hoger gelegen gebieden overgaand in zandstenen. Later komen daar ook fijnkorrelige sedimenten bij, en hier en daar zelfs indampingsafzettingen van woestijnmeren. Dit hele complex van afzettingen wordt gewoonlijk met de Duitse term "Rotliegend" aangeduid. In de loop van het Perm kwam een deel van noordoostelijk Engeland, ten noorden van de Wash, onder invloed van de Zechstein-zee. Dit is de eerste duidelijke weerspiegeling van een nieuw paleografisch element dat zich na de Variscische orogenese in Europa ontwikkelde: het Germaanse bekken. Het strekte zich uit van het Penninische gebergte in Engeland tot de rand van de Russische tafel in Polen. In het noorden werd het begrensd door het Baltische schild, in het zuiden door een reeks Paleozoïsche gebergtefragmenten, zowel van Caledonische als van Variscische ouderdom: St. George's Land, Massief van Brabant, Ardennen, Rijngebergten enz. Sinds zijn ontstaan in het Perm hebben zich in het centrale deel van dit dalende bekken duizenden meters sediment opgehoopt.

Naar de randen toe neemt de dikte af.

Uit het noorden, waar nu de Arctische oceaan ligt, drong de zee via een smalle verbinding ten westen van Scandinavië in het Zechstein-bekken binnen. Een wat hoger gelegen rug, die zich van Schotland door de tegenwoordige Noord-zee tot in Jutland uitstrekte, hield de transgressie aanvankelijk tegen, maar werd weldra plaatselijk overstroomd, zodat de zee ook binnendrong in het zuidelijke bekken, een bijna afgesloten binnenzee. Onder het droge, warme klimaat vond verdamping plaats, die bij onvoldoende toevoer van nieuw zeewater tot neerslag van opgeloste zouten (evaporieten) leidde. Vijf evaporietcycli kunnen worden onderscheiden. Ondanks verschillen van cyclus tot cyclus, vertonen zij alle in grote trekken dezelfde opeenvolging (van onder naar boven): bitumineuze schalie, dolomitische kalksteen met een mariene fauna (brachiopoden, bryozoën enz.), anhydriet (NaSO_4), haliet (keukenzout, NaCl) en kaliumzouten. Langs de kust van Durham zijn de kalken, met kleine riffen van algen en bryozoën, mooi ontsloten.

In het hele Germaanse bekken is de vijfde cyclus gebrekkig ontwikkeld. Dat kan een weerspiegeling zijn van afnemende mariene invloed. Naar boven gaat de Zechstein over in meestal roodgekleurde zanden met conglomeraten en kleien (Buntsandstein, Bunter in Engelse terminologie) van de Trias. Deze klastische sedimentatie is een gevolg van hernieuwde opheffing van oude blokken.

De transgressie die in grote delen van het Germaanse bekken tot de afzetting van Muschelkalk leidde, heeft in de Britse eilanden slechts geringe sporen nagelaten. Op de meeste plaatsen wordt de Bunter-faciës naar boven direct gevolgd door de Keuper-faciës (die dan in de tijd een langer interval omvat dan op het vasteland van Europa). Aanvankelijk zijn het ook nog rode afzettingen, minder grof dan van de Bunter, maar hoger verschijnen ook groene en grijze kleien en mergels, die naast overblijfselen van planten ook fossielen van mariene organismen bevatten. Door de beperkte invloed van de Zechstein- en van de Muschelkalk-transgressie vormen Perm en Trias in grote delen van de Britse eilanden één geheel van continentale, veelal roodgekleurde afzettingen.

Vanouds is daar de naam New Red Sandstone voor gebruikt. Dit lange continentale interval op de grens van Paleozoïcum en Mesozoïcum is ten dele een gevolg van de ligging van de Britse eilanden aan de rand van het Germaanse bekken, maar ten dele ook het gevolg van het uitgesproken lage niveau gedurende Perm en Trias. De verschijning van mariene fossielen boven in de Trias is dan ook meer dan een toeval: het is de aankondiging van een stijgend zeeniveau en daarmee van een nieuw hoofdstuk in de geschiedenis.

Jura en Krijt

Met de Jura zette een grote transgressie in, een wereldwijd verschijnsel dat in verband staat met het uiteenvallen van Pangea (het geheel van tegen elkaar liggende continenten zoals in het laatste deel van het Paleozoïcum was ontstaan). Het ontstaan van nieuwe oceanen, zoals de Atlantische oceaan, gaf aanleiding tot nieuwe oceanische ruggen (o.a. de Middenatlantische rug) waardoor de oceanische bekkens niet langer al het zeewater konden bergen en dit over de continenten begon te vloeien.

Het vlakke landschap uit de Trias veranderde in een diepe platte, waar weinig oudere blokken nog enigszins bovenuit bleven steken (Schotland, stukjes van Wales en van het Midland-kraton).

Zo'n ondiepe zee is gevoelig zowel voor bewegingen van de ondergrond als van het zeeniveau. Het gevolg is dat de afgezette sedimenten een grote verscheidenheid vertonen, afhankelijk van de omstandigheden die in een bepaald

gebied in een bepaald interval heersten. Toch springen een paar algemene trekken in het oog. In de Onder-Jura (Lias) overheersen donkere kleistenen en grijze kalken (vaak in een vele malen herhaald ritme), in de Midden-Jura (Dogger) komen meer zandstenen voor, terwijl in de Boven-Jura (Malm) lichte kalkstenen een belangrijk aandeel hebben. De rijke en gevarieerde fauna wijst op open mariene omstandigheden, heel anders dan de binnenzeeën van Zechstein en Muschelkalk. In de fauna nemen ammonieten een belangrijke plaats in als uitstekende gidsfossielen, die een zeer gedetailleerde stratigrafische onderverdeling in zones mogelijk maken.

De Jurassische transgressie bereikte haar hoogtepunt in het Oxfordien, maar pas tegen het einde van de Jura is er een duidelijke regressie. Het grootste deel van de Britse eilanden viel droog, al ging in het zuiden de sedimentatie wel door. Hier worden de lichte kalken van het Portlandien (de Portland Stone) bedekt door de Purbeck-afzettingen met resten van een landflora en een landfauna. Naar boven gaan deze over in de eveneens continentale Wealden-afzettingen die tot het Onder-Krijt behoren. Hoewel de regressie al spoedig in het Krijt in een nieuwe transgressie overging, duurde het tot in het Aptien voordat de zee het Zuidengelse Wealden-bekken bereikte (via Bourgondië en het Bekken van Parijs).

In het noorden van Engeland is de invloed van de regressie op de overgang van Jura naar Krijt veel geringer. Het hoogste deel van de Jura kan ontbreken, maar het Onder-Krijt is geheel marien. Het verschil onderstreept nog eens dat het zuiden en het noorden van Engeland tot twee verschillende sedimentatiegebieden behoren. Het zuiden vormt één geheel met het Bekken van Parijs (Anglo-Paris Basin) waarvan het noordwestelijke deel vormt. Het noorden van Engeland vormt het meest westelijke deel van het Germaanse bekken.

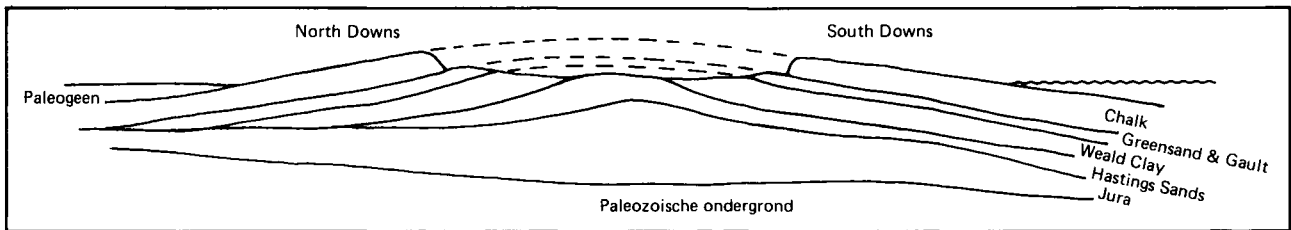
Het Onder-Krijt bestaat uit klastische sedimenten, in het noorden o.a. de Speeton Clay, in het zuiden Lower en Upper Greensand, gescheiden door de Gault-klei. Een geringe scheefstelling in het zuiden maakte dat dit mariene Onder-Krijt daar in westelijke richting met een geringe hoekdiscordantie geleidelijk op oudere delen van de Jura kwam te liggen: op Midden-Jura (Golden Cap), op Onder-Jura (Black Ven) en tenslotte zelfs op Trias. Met het voortschrijden van de transgressie verdween steeds meer land onder zee, waardoor de aanvoer van afbraakmateriaal nagenoeg ophield. Kalk werd het dominerende sediment van het Boven-Krijt: de "chalk", een gesteente dat grotendeels bestaat uit skeletplaatjes (coccolieten) van mariene, planktonische algen.

Tijdens het hoogtepunt van de transgressie, tegen het einde van het Campanien, bleven nog slechts delen van Schotland, vooral de Hooglanden, en van Wales boven water. Overigens strekte de zee zich over de Britse eilanden uit, naar het westen overgaande in de opengaande Atlantische oceaan.

Paleogeen

Tegen het einde van het Krijt begon het zeeniveau te dalen, en het effect daarvan werd versterkt door de opheffing van de Britse eilanden. Van het Maastrichtien en het bovenste Campanien is door erosie niet veel meer over. Na het Krijt is het grootste deel van de Britse eilanden boven zee gebleven. Slechts in het zuidoosten, van East Anglia tot Hampshire, vond in het Paleogeen nog mariene sedimentatie plaats. In East Anglia bleef dit beperkt tot de Eocene London Clay, maar in het Hampshire-bekken zijn Paleoceen, Eoceen en Oligoceen vertegenwoordigd in een afwisseling van mariene en continentale faciës (zeer mooi ontsloten langs de kust van het eiland Wight).

Het Hampshire-bekken bleef in het Paleogeen een geheel vormen met het Bekken van Parijs. Het laatste was even-



Afb. 4. Dwarsprofiel door de Wealden-anticlinale, een voorbeeld van een jonge, "Alpine" structuur. Door de zachtere Wealden-afzettingen (Hastings Sands en Weald Clay) vormt de anticlinale een depressie in het terrein tussen de Chalk-ruggen (North en South Downs) in de flanken.

wel gereduceerd tot een zuidelijk aanhangsel van het Noordzeebekken. Met het einde van het Paleogeen verdween het als gevolg van de doorgaande regressie die, zij het met talrijke fluctuaties, het Kenozoïcum kenmerkt.

Tektonische en magmatische activiteit

In het zuiden van Engeland rust het hogere deel van het Krijt met een geringe hoekdiscordantie op Jura en Trias. Dit is een voorbeeld van bewegingen die Engeland in en na het Krijt hebben beïnvloed. In het algemeen zijn het lichte, oppervlakkige bewegingen van een heel andere orde van grootte dan die in het Paleozoïcum. Zij worden wel als Alpine bewegingen aangeduid, maar het verband met de geweldige Alpine bewegingen in het zuiden van Europa is natuurlijk meer chronologisch dan causaal.

Vooraf in het zuiden kan men gemakkelijk het effect van anticlinale en synclinale structuren waarnemen. Op Wight staat het Paleogeen in de noordelijke flank van een anticlinal zelf verticaal. Iets verder naar het noorden vormt de Weald-anticlinal een sprekend voorbeeld van zulke jonge structuren. In de kern komen de zachte Wealden-afzettingen aan de oppervlakte, terwijl aan weerszijden in de flanken de resistente "chalk" een prominente rug vormt: de North Downs en de South Downs. Afb. 4; zie ook kleurenfoto D.

Van heel ander karakter is de magmatische activiteit in het westen van Schotland, tussen Skye en Arran, en in het noordoosten van Ierland (Antrim). De opening van het noordelijke deel van de Atlantische Oceaan vond aanvankelijk in het Mesozoïcum plaats tussen Noord-Amerika en Groenland. Omstreeks de overgang van Krijt naar Paleogeen kwam de actieve rekzone echter te liggen tussen Groenland aan de ene kant, en Scandinavië en het noorden van de Britse eilanden aan de andere kant. Zo'n rekzone verschaft een toegangsweg naar boven voor het materiaal uit de diepte, en dat manifesteerde zich aan de oppervlakte in bazaltuitvloeiingen op grote schaal. Intrusies waren van minder belang, al hebben zich in Schotland en Ierland wel grote stelsels van magmatische gangen ontwikkeld.

Aan de oostkust van Groenland begon de activiteit al in het Krijt, in Schotland en Ierland is zij van Paleocene ouderdom, al was er nog enige zwakke activiteit in het begin van het Eoceen. Daarna waren deze gebieden al te ver van de oceanische rekzone weggedreven om nog invloed ervan te ondergaan.

Pliocene en Pleistoceen

Na het Paleogeen bleef het Noordzeebekken (de huidige Noordzee met omgeving) het belangrijkste dalingsgebied en het enige waar nog mariene sedimentatie plaatsvond. Mioceen is in de Britse eilanden nagenoeg onbekend, maar

een interessante mariene opeenvolging van Pliocene en Onderpleistocene ouderdom komt in East Anglia voor. Dit gebied lag net in het randgebied van het Noordzeebekken, en de afzettingen vertonen dan ook het beeld van een ontstaan dicht bij de kust. Het zijn de z.g. Crag-afzettingen, meestal zandige afzettingen vol fragmenten van schalen van uiteenlopende diergroepen. De grootste verspreiding heeft de Coralline Crag. (De overvloedige fragmenten zijn later gebleken niet van koralen maar van bryozoën te zijn!) De jongere Crag-afzettingen erboven laten in hun fauna een duidelijk koeler wordend klimaat zien, en worden gewoonlijk tot het Pleistoceen gerekend.

Evenals elders in het noordwesten van Europa begonnen grote ijskappen in de Britse eilanden zich pas geruime tijd na het begin van het Pleistoceen te ontwikkelen. Het oorsprongsgebied van de Britse ijskappen lag in de Schotse Hooglanden, al verenigde het ijs zich later boven de intussen drooggevalle Noordzee met het van Scandinavië afkomende ijs.

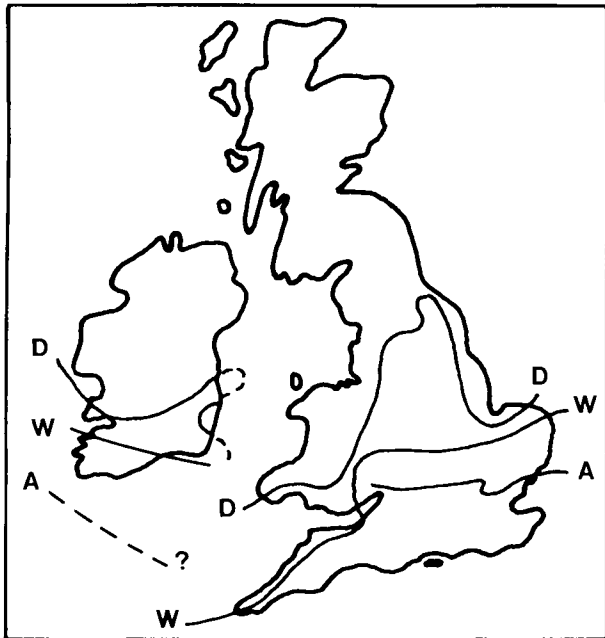
De drie belangrijkste vergletsjeringen van de Britse eilanden zijn (van oud naar jong): Anglian, Wolstonian en Devensian, die resp. overeenkomen met de Elster-, de Saale- en de Weichsel-vergletsjering van het Noordduitse gebied. Zij worden ieder gevolgd door een interval met een interglaciaal karakter: Hoxnian, Ipswichian en Flandrian (= Holoceen). Tijdens deze intervallen vertonen flora en fauna een gematigd karakter, ook is er enige invloed van transgressies. Afb. 5.

Natuurlijk hebben de herhaalde fluctuaties van het klimaat, en daarmee verbonden ook weer van het zeeniveau, allerlei andere sporen achtergelaten, zoals toendraverschijnselen (o.a. uit het laatste glaciaal in de Midlands), afzetting van dekzanden, afwisseling van insnijding en sedimentatie langs rivieren, zoals mooi ontwikkelde terrassen langs de Thames.

VI. Geomorfologie

Een land met een zo lange tektonische geschiedenis en met gesteenten van zo uiteenlopende ouderdom en samenstelling, heeft natuurlijk ook uit morfologisch oogpunt van alles te bieden. Het zou te ver voeren de morfologische ontwikkeling op de voet te volgen. Enkele interessante punten verdienen echter de aandacht. Wie zijn ogen openhoudt kan trouwens zelf gemakkelijk ontdekken hoezeer de structuur en de gesteenten hun stempel op het landschap drukken.

De Britse eilanden zijn niet bijzonder hoog, maar door de nabijheid van de zee lijken zij dikwijls hoger. Met een hoogste top van 1343 m boven zee (Ben Nevis in Schotland), blijven zij nog beneden de Frans-Zwitserse Jura! Het verband tussen geologie en morfologie bestaat op allerlei schalen. Een blik op de kaart is al voldoende om duidelijk te maken dat zowel de omtrek als het algemene reliëf van de Britse eilanden de geologische geschiedenis weerspiegelt. De vorm van Schotland herinnert aan de zuidwest-noordoost gestrekte Caledonische structuren,



Afb. 5. Zuidgrens van het landijs gedurende de drie belangrijkste Pleistocene vergletsjeringen: A = Anglian (vroeger ook Lowestoftian genoemd), W = Wolstonian (vroeger Gippingian, in Ierland Munsterian), D = Devensian (in Ierland Midlandian).

diepe inhammen en de afwatering volgen niet zelden dezelfde richting. Het noordwesten van Schotland lijkt op het eerste gezicht een uitzondering, maar hier is de structuur van het Lewisian-complex bepalend voor de vorm van de kustlijn. Het ver in zee uitstekende blok van Wales in het zuidwesten bestaat ook uit oudere, aan erosie meer weerstand biedende gesteenten. Daartussen volgt de diepe inham van het Kanaal van Bristol vermoedelijk een belangrijke breukzone.

De Caledonische blokken vormen de hoogste delen van Groot-Brittannië. Natuurlijk zijn dat geen overblijfselen meer van het oorspronkelijke reliëf toen zij nog een jong gebergte waren. Dat reliëf is al lang door erosie verdwenen. Wel hebben deze blokken sindsdien altijd een stabielere positie behouden in vergelijking met hun omgeving. Bovendien hebben zij later, tot in het Kenozoïcum toe, nog weer nieuwe opheffing ondergaan. Het tegenwoordige reliëf is te danken aan de inwerking van de erosie op deze laatste opheffing. De aard van de gesteenten is daarbij van groot belang. De ruige topografie van de Grampian Highlands, met Dalradian aan de oppervlakte, steekt schril af tegen de glooiende terreinvormen in de zachtere Paleozoïsche gesteenten van het zuiden van Schotland en van het Lake District. De oude massieven zijn niet alleen de hoogste delen, maar ook de delen met grillige, diep ingesneden kustlijnen.

In tegenstelling daarmee vertoont het jonge, Postvariscische zuidoostelijke deel van Engeland een veel rustiger topografie en een veel gladdere kustlijn. Dat laatste geldt voor de gehele zuidkust ten oosten van Exmouth (bij benadering) en voor vrijwel de hele Noordzeekust van Engeland. Afgezien van de gevolgen van zwakke bewegingen, waardoor de Weald-anticlinaal het Hampshire-bekken scheidt van het Bekken van Londen, liggen de lagen hier in het algemeen horizontaal. Mariene erosie heeft wel klifkusten doen ontstaan, maar overigens zetten deze afzettingen zich zonder noemenswaardige veranderingen onder het

Kanaal en de Noordzee voort.

Landinwaarts wordt het beeld van deze Postvariscische sedimenten beheerst door de latere opheffing van het Penninische gebergte. Op het gebergte zijn zij, evenals verder naar het noordwesten, door erosie goeddeels verdwenen. Aan de zuidoostkant zijn zij enigszins mee naar boven getrokken: zij staan daar steiler dan langs de kust. Deze wat steilere positie leidt ook weer tot een interessante morfologie. Door de afwisseling van harde en zachte lagen, bijzonder markant in de Jura, ontstaan in de strekking van de dagzoom prominente richels ("scarps"), gescheiden door depressies.

Hoewel de noordwestelijke begrenzing van het voorkomen van Jura en Krijt door het Penninische gebergte bepaald wordt, heeft die begrenzing niets te maken met de oorspronkelijke omvang van de transgressies. Het is een erosiegrens. Tot ver in het noordwesten van Schotland (o.a. op Skye) komt nog Jura voor: kleine stukjes, die aan erosie ontsnapt zijn onder de bedekking van Paleocene lavastromen.

Het Pleistoceen, met zijn bijzondere klimatologische omstandigheden, heeft overal op de Britse eilanden zijn sporen achtergelaten. Oude en jonge morenes, de laatste meestal duidelijker dan de eerste, komt men, behalve in het zuiden van Engeland, overal tegen. Soms zijn zij nog duidelijk verbonden met de ervoor liggende smeltwater-vlaktes. In gebieden met meer reliëf, Schotland in de eerste plaats, waren dalen vaak door morenes afgesloten, zodat daarachter, tijdens het terugtrekken van het ijs, smeltwatermeren ontstonden. Wisselende waterstanden in zulke meren zijn niet zelden in terrassen langs hun randen weerspiegeld.

Moeilijker te interpreteren, maar in overvloed langs de kustlijn te vinden, zijn mariene terrassen, soms nog aan de landzijde door resten van het bijbehorende klif begrensd. Zij zijn een gevolg van bewegingen van het land en van het zeeniveau ten opzichte van elkaar. Zulke bewegingen hebben in de geschiedenis voortdurend plaats gevonden. In het Pleistoceen treden complicaties op. Door het komen en gaan van grote landijskappen heeft het zeeniveau aanzienlijke (tot meer dan 100 m) en snelle schommelingen ondergaan. Bovendien wordt de aardkorst onder het gewicht van een ijskap enigszins ingedeukt. Dit is een elastische vormverandering, die zich herstelt als de oorzaak ophoudt te werken. Het noorden van Groot-Brittannië heeft hiervan heel duidelijk de invloed ondergaan. Verder naar het zuiden neemt deze invloed af. Er ontstaat zodoende een ingewikkeld samenspel tussen bewegingen van het land en van het zeeniveau. Een moeilijkheid is dat de ouderdom van de kustterrassen lang niet altijd vastgesteld kan worden. Sommige terrassen zijn al van Prepleistocene ouderdom. Aan de andere kant komen in Schotland terrassen voor die in verband staan met de Holocene transgressie, en die nu reeds tot 15 m boven zeeniveau liggen.

De geschiedenis gaat nog steeds door.

Literatuur

Enkele titels van boeken voor hen die dieper willen graven:

G.Y. Craig (ed.), *Geology of Scotland*; second ed. 488 p.p., Scottish Academic Press, Edinburgh 1983

C.H. Holland (ed.), *A geology of Ireland*; 335 p.p., Scottish Academic Press Edinburgh 1984

P.Mc L. Duff & A.J. Smith (eds.), *Geology of England and Wales*. Scottish Academic Press Edinburgh, (nog niet verschenen).

De stof van de bovenstaande drie "zware" boeken komt,

beknoper, lichter en goedkoper, ook aan de orde in drie Pelican-uitgaven, onder de titel *Geology and scenery in Scotland* (J.B. Whittow, 1977)in *Ireland* (J.B. Whittow) enin *England and Wales* (A.E. Trueman). Deze deeltjes zijn al wat ouder, en hoewel niet meer in ieder opzicht een weerspiegeling van de nieuwste opvattingen, nog altijd goed en handzaam reisgezelschap. A.L. Harris, C.H. Holland & B.E. Leake (eds.), *The Caledonides of the British Isles - reviewed*. Geol. Soc. Lond., Spec. Publ. 8, Scottish Academic Press, Edinburgh 1979. P.L. Hancock, *The Variscan fold belt in the British Isles*. Adam Hilger Ltd., Bristol 1983. J.G.C. Anderson & T.R. Owen, *The structure of the British Isles*. Second ed. Pergamon Press, Oxford 1980. D.H. Rayner, *The stratigraphy of the British Isles*. Second

ed. Cambridge University Press, London 1983 (degelijke, maar conventionele stratigrafie). R. Anderton, P.H. Bridges, M.R. Leeder & B.W. Sellwood, *A dynamic stratigraphy of the British Isles. A study in crustal evolution*. George Allen & Unwin, London 1979 (een verfrissende moderne benadering). R.G. West, *Pleistocene geology and biology, with especial reference to the British Isles*. Second ed. Longman, London 1977. J.G.C. Anderson, *Field geology in the British Isles, a guide to regional excursions*; Pergamon Press, Oxford 1983. Dit boek bevat vele tientallen excursies in Groot-Brittannië en heel Ierland.

Voor verdere uitgaven wordt verwezen naar het artikel over literatuur op pag. 55.

Zuidwest-Engeland in een geologisch kader

door drs. E.H.M. Wolff

Dit artikel is bedoeld als een reisgids voor de amateur-geoloog die een bezoek brengt aan het zuidelijk deel van Engeland, met name de graafschappen Cornwall, Devon, Somerset, Hampshire en Dorset, grofweg het gebied ten westen van de lijn Bristol-Dorchester. Na één theoretische inleiding zullen de verkregen gegevens in een vijftal excursieroutes in het veld worden toegepast. Binnen het kader van dit artikel is het niet mogelijk diepgaand op de vele interessante onderwerpen in te gaan, voor uitgebreidere gegevens wordt de lezer verwezen naar de literatuurlijst aan het eind van het artikel.

Inleiding

Het hier behandelde gebied maakt deel uit van Variscisch (Hercynisch) Europa en bestaat grotendeels uit Devon-Carbonische gesteenten: schalies, leistenen, kwartsieten en vulkanische gesteenten, die een regionaal synclinorium¹ vormen met een oost-west-richting. Deze gesteenten worden in het oostelijk deel van Zuid-Engeland discordant² bedekt door Permische en jongere sedimenten (afzetting-gesteenten), zoals rode zandstenen en conglomeraten (Perm), groenzanden, kleien en kalkstenen (Mesozoïsch) en zanden, kleien en grind (Tertiair-Kwartair). Zie ook de geologische kaarten afb. 1 en de stratigrafische tabel op pag. 6.

Tegen het einde van de Variscische orogenese³ werden de Devon-Carbonische series geïntrudeerd (binnengedrongen) door granietplutonen, grote onderaards stollende granietlichamen, die naar de diepte toe overgaan in één batholiet⁴, waarvan op grond van geologische en geofysische aanwijzingen wordt verondersteld dat deze verbonden is met de granietintrusies van Normandië en Bretagne in Frankrijk aan de andere zijde van Het Kanaal. De gemiddelde radiometrische ouderdom van deze intrusies ligt rond de 290 miljoen jaar (Boven-Carboon).

Rondom elke granietintrusie is een aureool van contact-metamorphe gesteenten gevormd, waarin ook de meeste in het gebied voorkomende mineralisaties zijn te vinden.

Tijdens deze Variscische orogenese gedroeg het Lizard-complex in Zuid-Cornwall, dat gedeeltelijk uit Precambri-sche gesteenten is opgebouwd, zich als een min of meer rigide blok, waarin vrijwel alleen verticale bewegingen langs breuken plaatsvonden.

Na de afzetting in zeemilieu van de veelal slechts licht scheefgestelde tot horizontaal liggende Mesozoïsche gesteenten is het gebied tijdens het Tertiair meerdere malen onder de zeespiegel verdwenen en weer drooggeval-len; het meest geprononceerde erosieoppervlak, waarschijnlijk van Pliocene ouderdom, ligt ongeveer 120 m boven het huidige zeeniveau.

Door de stijging van het zeeniveau na de laatste IJstijden, waarvan de afzettingen (zand, grind, keileem, etc.) nog overal te vinden zijn (deze worden "Drift" genoemd), drong de zee het land binnen, waardoor verdronken rivierdalen ontstonden. Deze zijn o.m. nog duidelijk te herkennen rond Falmouth, Plymouth en Dartmoor-Exeter.

Stratigrafie

Pre-Devon

De oudste gesteenten in het betreffende gebied zijn de waarschijnlijk Precambri-sche, granaathoudende gneizen en hoornblendeschisten van de Lizard, die verderop wat uitgebreider beschreven zullen worden, en Eddystone Rif. Ordovicische en Silurische gesteenten komen slechts voor als exotische (niet binnen de geologische serie thuishorende) blokken aan de westzijde van het Lizard-schiereiland.

Devon

De groene hoornblende-chlorietschisten en de glimmerschisten in de omgeving van Start Point zijn waarschijnlijk gemetamorfoseerde Onderdevonische gesteenten, maar een hogere ouderdom kan niet uitgesloten worden. Zij zijn door breukcontacten gescheiden van jongere Onderdevonische gesteenten, die gekenmerkt worden door een overgang van continentale naar ondiep-water-faciës⁵ met een toenemende vulkanische activiteit. Deze laatste blijkt