Britse geologen uit de negentiende eeuw:

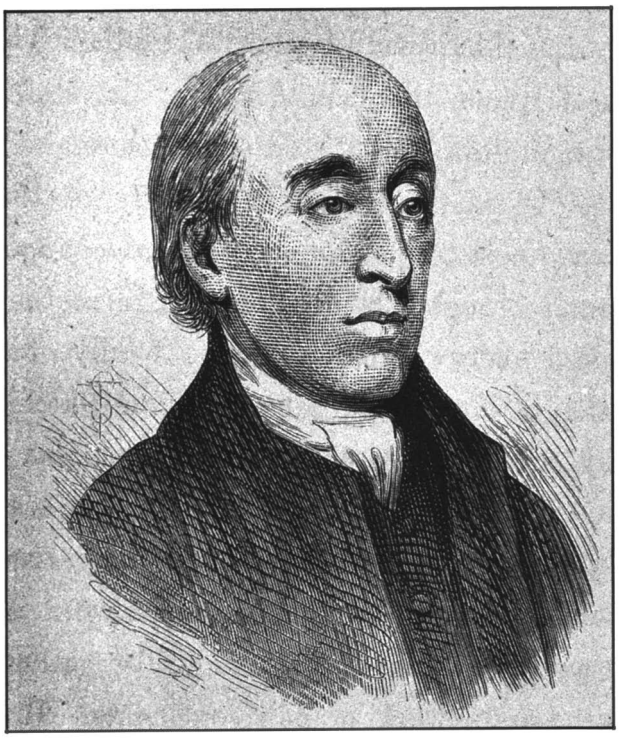
in het voetspoor van Hutton en Smith

door A. Brouwer*

Twee eeuwen geleden, in de ten einde lopende achttiende eeuw, werd in Groot-Brittannië de grondslag gelegd voor de geologie als een natuurwetenschap in de moderne zin van het woord. De namen van twee pioniers zijn daar onafscheidelijk mee verbonden: James Hutton en William Smith. Hun denkbeelden drukten een stempel op de beoefening van de geologie in de negentiende eeuw, niet alleen in hun eigen land, maar al spoedig ook daarbuiten.

De werelden van Hutton (afb. 1)

James Hutton sprak in 1785 in twee achtereenvolgende vergaderingen (7 maart en 4 april) van de enkele jaren eerder opgerichte Royal Society of Edinburgh, over "The system of the Earth, its duration, and stability". Hutton begon met erop te wijzen dat het land hoofdzakelijk bestaat uit gesteenten die eenmaal als los materiaal (zand, klei, kalk) in zee zijn afgezet, zoals ook nu nog in zee gebeurt. Er doen zich dan direct twee vragen voor: hoe wordt het losse materiaal tot een gesteente, en hoe wordt de zeebodem tot land opgeheven? Voor de beantwoording van beide vragen roept Hutton de 'onderaardse' warmte te hulp. Het losse materiaal wordt daardoor samengesmolten. Vulkanen laten zien hoe heftig het daar beneden in het rijk van vuur toegaat: de expanderende krachten zijn in staat de zeebodem naar boven te brengen. Het tegenwoordige land wordt door erosie afgebroken en levert zo weer nieuw los materiaal voor de zeebodem van een volgende wereld. Zo moet ook de wereld van nu, eenmaal op de zeebodem zijn ontstaan uit de afbraak van een oudere wereld, zodat "with respect to human observation, this world has neither a beginning nor an end". Hutton onderstreept dat hier 'secondary causes' in het spel zijn, waarmee hij stilzwijgend onderscheid maakt met de 'eerste oorzaak', die de schepping van de wereld tot stand bracht. Ook legt hij er de nadruk op, dat zijn theorie berust op verantwoorde afleidingen uit waarneembare feiten. Dat was geen geringe constatering in een tijd waarin de opvattingen over de natuur om ons heen grotendeels werden beheerst door het bijbelse scheppingsverhaal en de werking van bovennatuurlijke krachten in het verleden.
Het zou interessant zijn te weten of er na de voordracht een discussie volgde, en wat daar aan de orde kwam. Juist ter wille van de discussie verlangde de Royal Society van de sprekers dat een samenvatting beschikbaar was. Van Huttons samenvatting bestaan nog enkele exemplaren, maar uit het verslag van de vergaderingen blijkt niets over een discussie. Toen de Royal Society of Edinburgh in 1888 met de uitgave van de Transactions begon, verscheen een uitvoerig artikel (bijna 100 blz.) in het eerste deel. Met enkele kleine veranderingen komt dit artikel terug als het eerste hoofdstuk in de twee grote, dikke delen (meer dan duizend blz., prijs 14 shilling!) waarin Hutton in 1795 zijn theorie uitvoeriger bekend maakte.
De stijl van Huttons betoogtrant maakt het boek niet gemakkelijk leesbaar. De inhoud werd in ruimere kring bekend toen John Playfair, hoogleraar in de wiskunde in



Afb. 1. James Hutton (1726-1797), naar een schilderij door Henry Reaburn, ca. 1780. (Met toestemming overgenomen uit 'James Hutton's Theory of the Earth: the lost drawings'; Scottish Academic Press 1978.)

Edinburgh en een vriend van Hutton, in 1802 een kortere, 'populaire' versie liet verschijnen onder de titel 'Illustrations of the Huttonian theory of the Earth'.
Waarschijnlijk zijn van het grote werk niet meer dan 500 exemplaren gedrukt, waarvan er slechts enkele tientallen de eeuwen hebben overleefd. Gelukkig is in 1972 een facsimile-uitgave (in kleiner formaat) verschenen. Ook Playfairs 'Illustrations' zijn, in 1956, opnieuw uitgegeven. Het was de bedoeling van Hutton de beide delen van 1795 nog door een derde deel te laten volgen. Dit deel zou ruim geïllustreerd worden, waarvoor John Clerk of Eldin tijdens geologische excursies met Hutton tussen 1785 en 1788 tal van schetsen vervaardigde. Na Huttons dood, in 1797, kwam het manuscript na enige omzwervingen bij de Geological Society in Londen terecht, waar het in het archief ter ruste werd gelegd. Bij de nadering van de honderdste terugkeer van Huttons sterfdag werd het door A. Geikie voor de druk gereed gemaakt. Het verscheen in

* De schrijver is emeritus hoogleraar in de stratigrafie en de paleontologie, Rijksuniversiteit te Leiden, en gastmedewerker van het Rijksmuseum van geologie en mineralogie (Postbus 9518, 2300 RA Leiden)

1899, zonder de illustraties van John Clerk. Het bestaan daarvan was in het vergeetboek geraakt, of men heeft aangenomen dat zij verloren waren gegaan. Groot was dan ook de verrassing toen in 1968 de illustraties boven water kwamen: zij bevonden zich nog steeds in een omvangrijke collectie papieren van de familie Clerk in Penicuik House. Van de 70 teruggevonden tekeningen, veelal met waterverf opgewerkt, zijn er door de zorgen van G.Y. Craig in 1978 na twee eeuwen 68 gereproduceerd uitgegeven. Afb. 2.

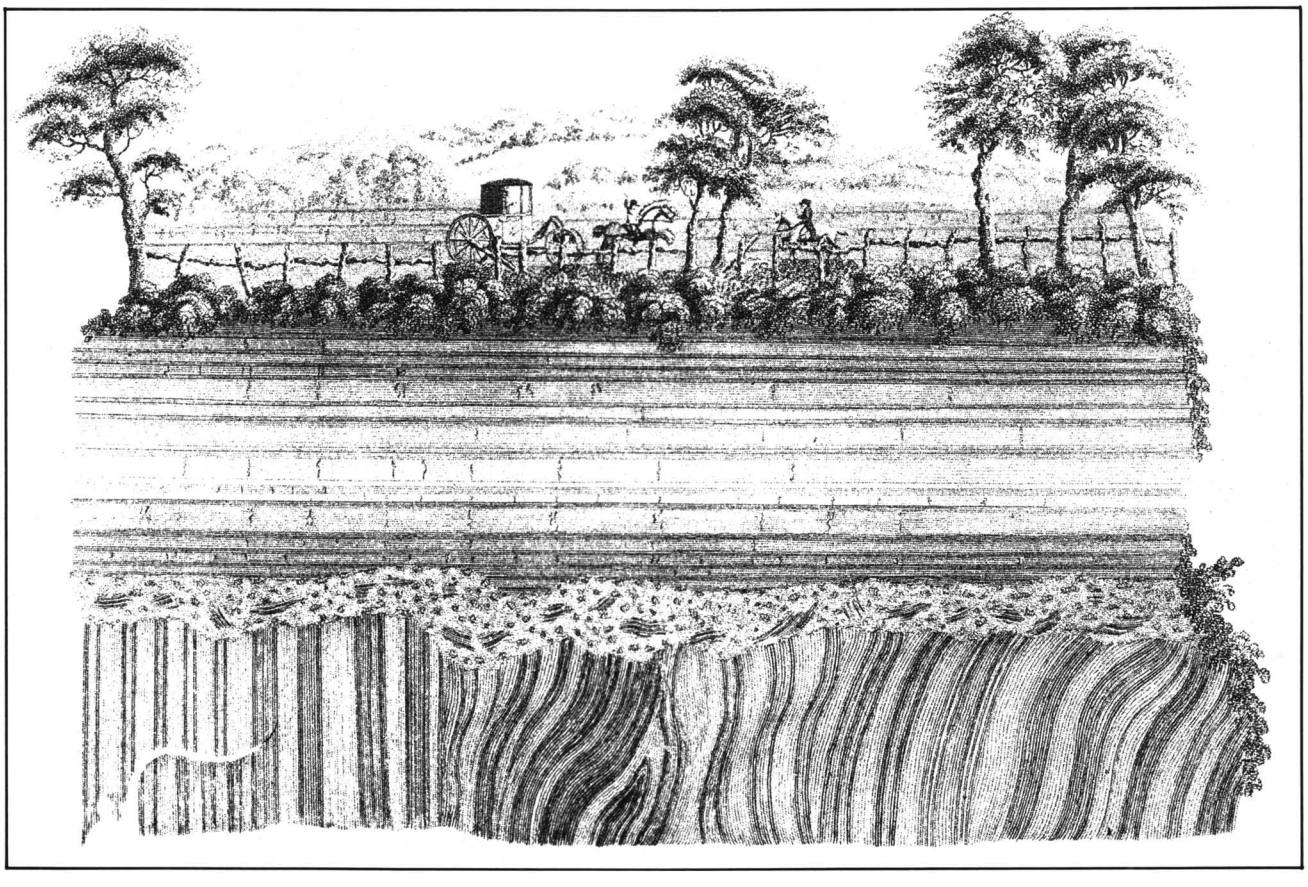
James Hutton is in 1726 geboren in Edinburgh, waar hij ook het grootste deel van zijn leven heeft doorgebracht. Hij studeerde aanvankelijk Grieks en Latijn, en vervolgens geneeskunde. Deze laatste studie zette hij voort in Parijs en in Leiden, waar hij in 1749 de doctorsgraad behaalde. Terug in Schotland wierp hij zich op de landbouw, die hij op wetenschappelijke wijze bedreef op zijn boerderij in Sligh Houses van 1754 tot 1768. In dat jaar vestigde hij zich weer in Edinburgh om zich verder aan de geologie te wijden. De inkomsten van een bescheiden vermogen stelden hem in staat als ambteloos burger te leven. Geïsoleerd werkte hij zeker niet. Hij maakte deel uit van een groep van intellectuelen (de Oyster Club), die wekelijks bijeenkwam om wetenschappelijke problemen te bespreken. Het was de tijd van de Schotse Verlichting.

Afb. 2. Hoekdiscordantie tussen Upper Old Red Sandstone en Lower Old Red Sandstone bij Jedburgh. Naar een gravure van John Clerk of Eldin. (Met toestemming overgenomen uit 'James Hutton's Theory of the Earth: the lost drawings'; Scottish Academic Press 1978.) Dit is een van de weinige afbeeldingen die ook al voorkomen in de oorspronkelijke uitgaven van de 'Theory of the Earth' (vol. 1, pl. III). Dezelfde discordantie is tegenwoordig veel beter te zien in de ook aan Hutton bekende ontsluiting aan de kust bij Siccar Point (Berwickshire).

Hutton hechtte grote betekenis aan plutonische gesteenten (dieptegesteenten, zoals graniet), en in het algemeen aan stollingsgesteenten, met inbegrip van bazalt. Hij behoorde tot de plutonisten, een school die lijnrecht stond tegenover het neptunisme van Abraham Gottlob Werner. Het centrum van het neptunisme, dat alle gesteenten liet ontstaan door middel van water, door afzetting of door kristallisatie (met graniet altijd als het oudste gesteente), was de beroemde Bergakademie (mijnbouwschool) in Freiberg (Saksen). Werner, die daar mineralogie en geologie doceerde, kwam vrijwel gelijktijdig met de publicatie van Hutton, met zijn neptunistische theorie: een vaste volgorde van de gesteenten die de ontwikkeling van de wereldzee weerspiegelde. Werner heeft weinig geschreven, maar hij was een meeslepend docent, die ook uit het buitenland leerlingen naar Freiberg trok. Via zijn leerlingen oefende hij grote invloed uit op de geologische opvattingen van die dagen. Het is niet zonder ironie dat Robert Jameson, die in Edinburgh mineralogie en geologie doceerde als onderdeel van 'natural philosophy', niet alleen een leerling, maar ook nog een onkritische aanhanger van Werner was.

William Smith: lagen en fossielen (afb. 3)

Van geheel andere aard, maar niet van minder belang, was de bijdrage die William Smith tegen het einde van de achttiende eeuw tot de grondslagen van de moderne geologie leverde. Het weinige dat de dorpsschool in zijn geboorteplaats Churchill (Oxfordshire) hem had bijgebracht, vulde hij door zelfstudie aan met kennis van de landmeetkunde. In 1787 zien wij hem als hulpje van een oudere landmeter, Edward Webb, zelf een autodidact zonder veel formele opleiding. Van diens ervaring heeft Smith ruimschoots geprofiteerd; hij ontwikkelde zich al spoedig tot een bekwame kracht die van Webb allerlei



opdrachten kreeg om zelfstandig uit te voeren, niet alleen in Oxfordshire, maar ook elders. De aanleg van een tunnel onder het Thames-Severn-kanaal, en werk verbonden met een steenkoolboring in New Forest, gaven hem gelegenheid niet alleen op, maar ook in de aarde te kijken. Vanaf 1791 is hij in Somerset, waar hij meer en meer betrokken raakt bij de kolenmijnbouw. Daar doet hij ook, in 1793, de eerste opmetingen voor de aanleg van het Somerset Coal Canal. Waarschijnlijk begonnen zich bij Smith in deze jaren voor het eerst denkbeelden te ontwikkelen over een zekere regelmaat in de opeenvolging van gesteentelagen. Wat hij in Somerset zag, herinnerde hem aan wat hij eerder in zijn geboortestreek had gezien.
Nadat het Parlement in 1794 had besloten tot de aanleg van het kanaal over te gaan, reisde Smith met twee van zijn nieuwe opdrachtgevers gedurende anderhalve maand door Engeland om zich voor te bereiden op problemen die bij de uitvoering te verwachten waren. Zo'n lange reis, die tot Newcastle in het noorden van Engeland ging, gaf Smith gelegenheid om de algemene geldigheid van zijn nieuwe denkbeelden in een veel groter gebied te toetsen. Hij zat dan ook bij voorkeur bij de koetsier op de bok van het rijtuig, vanwaar hij een veel beter zicht had op de gesteenten onderweg dan anders mogelijk zou zijn geweest.
Smith werkte tot het midden van 1799 voor de Coal Canal Company. In Bath, waar hij van 1795 tot 1798 woonde, kwam hij in contact met twee anglicaanse predikanten en verzamelaars van fossielen, Benjamin Richardson en Joseph Townsend. Op een keer heeft Smith Richardson verrast door de fossielen uit diens verzameling te rangschikken naar de volgorde van de gesteentelagen waaruit zij afkomstig waren. Richardson, die zelf een dergelijk verband nog nooit had opgemerkt, was zo onder de indruk, dat hij een bijeenkomst met Townsend belegde, waar Smith hetzelfde nogmaals met diens verzameling vertoonde. Smith dicteerde bij die gelegenheid, in 1799, een tabel van de opeenvolging van lagen die liep van 'Coal' (Boven-Carboon) tot 'Chalk' (Boven-Krijt). Een stratigrafische tabel, zoals wij die nu kennen, bestond nog niet. De namen die Smith gebruikte, waren namen die reeds lang in de kolenmijnbouw of in de steenindustrie in gebruik waren (Millstone Grit, Lias), of namen die hij zelf in de loop der jaren aan goed herkenbare eenheden had gegeven. Sommige daarvan zijn nog altijd gemeengoed onder stratigrafen binnen en buiten Engeland.
Door Richardson en Townsend werd de tabel van Smith in ruimere kring bekend en dat droeg bij tot diens reputatie als een bekwame raadgever. Daar droeg ook toe bij dat hij bijeenkomsten van landbouwkundige verenigingen aangreep om zijn kaarten en profielen te demonstreren. Het gevolg was dat Smith, nadat zijn betrekking met de Coal Canal Company in 1799 geëindigd was, over gebrek aan opdrachten niet te klagen had. Voor het opmeten van mijnprofielen, voor de berekening van kolenvoorraden, bij drainagewerkzaamheden of bij aardverschuivingen, werd zijn medewerking gezocht, zozeer dat hij geleidelijk zijn honorarium (zonder reis- en verblijfkosten) van één guinea (1£ 1sh.) tot drie guineas per dag verhoogde.
Smith was reeds in 1793 of 1794 begonnen met de vervaardiging van een geologische kaart van delen van Somerset, die hij in 1799 voor de Bath Agricultural Society tentoonstelde. Van de kaart die hij in dezelfde tijd van de omgeving van Bath maakte, bestaan nog drie exemplaren. Het is een van de oudste geologische kaarten die die naam verdienen. Intussen gingen de gedachten van Smith al uit naar een geologische kaart van heel Engeland. Er bestaat nog een klein kaartje in manuscript uit 1801, waarop slechts zeven eenheden zijn onderscheiden. Het geeft in hoofdzaken een redelijk beeld van de geologie van Engeland, en het bewijst dat Smith daar toen reeds mee vertrouwd was. Die kennis vergaarde hij, terloops als het



Afb. 3. William Smith (1769-1839), naar een schilderij door Fourau, ca. 1837, in het bezit van de Geological Society.

ware, tijdens de vele reizen die hij na 1799 voor de uitvoering van opdrachten maakte. Jaarlijks legde hij zo'n 15.000 km af. Bij de transportmogelijkheden van die tijd moet men daar niet gering over denken. Hij was voortdurend in de weer om zijn kaart te verbeteren en te verfijnen. Ook na lange werkdagen verzuimde hij nooit 's avonds nog zijn aantekeningen bij te houden.
Het staat niet vast wanneer Smith de kaart als voltooid heeft beschouwd. Wij weten dat hij na allerlei moeilijkheden om het geld voor de uitgave bij elkaar te krijgen, in 1812 met een bekende uitgever van kaarten, John Cary, tot overeenstemming kwam. Cary had net een nieuwe topografische kaart uitgegeven op de schaal van 1 inch:5 mijl (dat is ongeveer 1:317 000), en was bereid met die kaart als ondergrond de geologische kaart van Smith uit te geven. In 1815 verscheen de kaart, 'A delineation of the strata of England and Wales with part of Scotland ... on the scale of five mile to the inch'. Zij meet bijna twee bij drie meter, en werd, in vijftien bladen met een kleine toelichting, verkocht voor £5.5.0. De toelichting bevatte o.a. een nieuw overzicht van de stratigrafische opeenvolging, uitvoeriger dan de tabel van 1799, dat nu liep van de Old Red Sandstone (Devoon) tot de London Clay (Eoceen). Afbeeldingen van karakteristieke fossielen voor de onderscheiden eenheden gaf Smith in zijn 'Strata identified by organized fossils' (1816-1819), waarvoor niemand minder dan J. Sowerby de platen tekende. In de volgende jaren liet Smith verscheidene geologische profielen het licht zien, waarvan het meer dan een meter lange profiel van Londen tot Snowdon in Wales het interessantste is. Verder begon hij in die jaren aan een geologische atlas, waarvan zes afleveringen met de kaarten van 24 graafschappen verschenen (1819-1824).
Al deze activiteiten vestigden zijn naam als geologisch kartograaf, maar dreigden de betekenis van de grote

stratigrafische ontdekking uit zijn jonge jaren enigszins in de schaduw te stellen. Toch was daarvan de fundamentele betekenis veel groter, ook al had de 'officiële' wetenschap, als er toen al van zoiets sprake was, daar met de nodige terughoudendheid tegenaan gekeken. Wel gingen enkele vooruitstrevende geesten met behulp van de tabel van 1799 op de door Smith gewezen weg verder, maar onder de instellingen die de uitgave van de grote geologische kaart in 1815 mogelijk hadden gemaakt, ontbreekt de in 1807 opgerichte Geological Society.
Voor een deel moet dit wel verklaard worden uit de nederige geboorte van Smith. Men moet niet vergeten dat in die dagen de leden van zulke geleerde genootschappen in de eerste plaats 'gentlemen' waren, en pas in de tweede plaats verwacht werden belangstelling voor de wetenschap te tonen. Naarmate de zaken van de Geological Society geleidelijk in handen kwamen van leden van meer geologisch gewicht, zoals De la Beche, Buckland, Murchison, Sedgwick en Lyell, nam de waardering voor Smith snel toe. Na een legaat van W.H. Wollaston stelde de Geological Society een gouden medaille in (later altijd als de 'Wollaston medal' aangeduid, en nog altijd gewaardeerd als de hoogste onderscheiding in de geologische wereld), die jaarlijks aan een onderzoeker wegens zeer bijzondere verdiensten voor de wetenschap zou worden toegekend. Voor de eerste maal ging zij, in 1831, naar William Smith. In een lovende toespraak over de betekenis van het werk van Smith, noemde Sedgwick hem de 'Father of English geology'. Met evenveel recht had hij hem de vader van de stratigrafie kunnen noemen. De ontdekking van Smith, in het laatste decennium van de achttiende eeuw, legde immers de grondslag voor de stratigrafie, waarmee ook de ontwikkeling van andere delen van de geologie mogelijk werd. Het besef van de tijd als een dimensie van de natuur, een besef dat in het laatste kwart van de achttiende eeuw doordrong, onder invloed van onderzoekers als De Buffon, Hutton, Werner en A. von Humboldt, gaf Smith een praktisch bruikbaar hulpmiddel om de tijd, althans met een relatieve schaal, te meten.

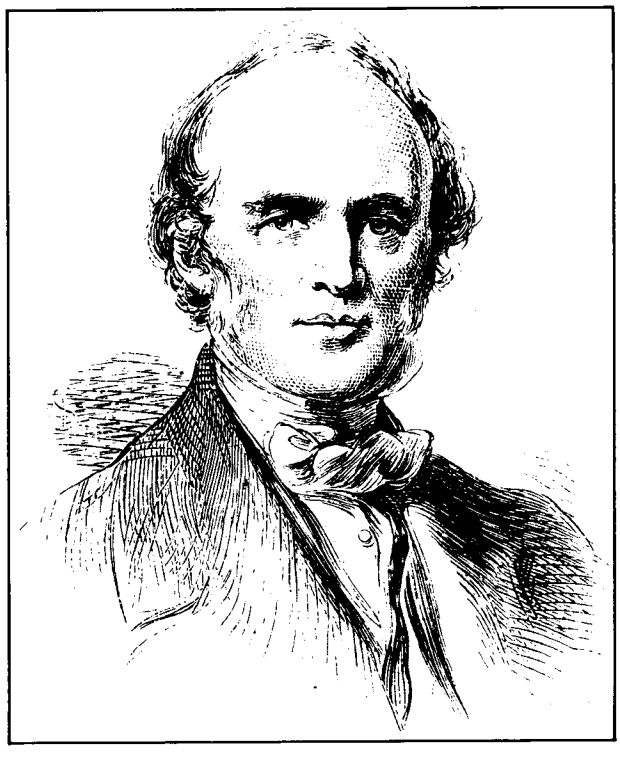
Naar een moderne wetenschap

Hoewel het werk van Smith aanvankelijk met veel reserve was ontvangen, vond het door hem ontdekte verschijnsel, dat de relatieve ouderdom van lagen uit de fossielen kan worden afgeleid (de tweede hoofdwet van de stratigrafie) tenslotte veel gemakkelijker algemeen ingang dan Huttons theorie. Verwonderlijk is dat niet. Met enige kennis van de stratigrafische opeenvolging en van fossielen kan iedereen zich van de juistheid van Smiths principe overtuigen. Huttons theorie daarentegen ging meer in de richting van een filosofische overtuiging. Met recht kon Hutton wel schrijven dat zijn theorie gebaseerd was op zorgvuldige conclusies uit waarneembare feiten, maar een strikt bewijs was daarmee nog niet geleverd. Bood Smith de geologie, de stratigrafie in de eerste plaats, een verifieerbare wet aan, Hutton verschafte de geologie een theoretische grondslag, bijna een dogma, en in ieder geval een 'leer'. Het was die grondslag die meer dan iets anders bijdroeg om de geologie tot een wetenschap te maken. Maar het verzet was taaier en duurde langer.
In Duitsland ontbrandde reeds omstreeks 1790 over Werners denkbeelden een heftige strijd, die in 1788 door J.K.W. Voigt op gang werd gebracht. Gedeeltelijk draaide het dispuut om de oorsprong van bazalt, door Werner als een aquatische formatie beschouwd. Bazalten op sedimenten, die op hun beurt weer op graniet rusten, waren voor Werner een overtuigend bewijs voor zijn stelling. Zoals wel meer bij Werner het geval was, waren ook hier de waarnemingen goed, maar de conclusies aanvechtbaar. Ook in Frankrijk raakten geologen in deze strijd verwikkeld, waarbij vooral de jonge bazalten van Auvergne in het geding waren.
In Groot-Brittannië is deze strijd nauwelijks doorgedrongen, hoewel G. Poulett Scrope zich met verscheidene studies over jonge vulkaangebieden van Europa zich er wel in mengde. In het westen van Schotland, waar jonge bazalten overvloedig aanwezig zijn, werd hun wijze van ontstaan geen punt van discussie. Wel had Werner in de persoon van Jameson een trouwe volgeling, maar diens invloed was niet groot. Zelfs in diens eigen vesting Edinburgh waren in geleerde kringen velen aanhanger van Hutton. Bazalt was evengoed als graniet een stollingsgesteente, en beide konden van heel uiteenlopende ouderdom zijn. Daarvoor had Hutton genoeg overtuigende bewijzen aangevoerd.

Charles Lyell: 'Principles' (afb. 4)

Wel ligt in Groot-Brittannië de oorsprong van een andere strijdvraag. Deze ontwikkelde zich in de negentiende eeuw, nadat in 1830 het eerste deel van de 'Principles of geology' van Charles Lyell was verschenen. Er is geen betere en kortere samenvatting van te geven dan die welke Lyell zelf het boek in de ondertitel meegaf: 'an attempt to explain the former changes of the Earth's surface, by reference to causes now in operation'. Voortbouwend op Huttons theorie is het boek een pleidooi voor een krachtenspel, dat in het verleden van de aarde niet anders was dan tegenwoordig, niet anders naar aard, noch naar intensiteit. Het boek is buitengewoon leesbaar geschreven, en, tweede verschil met Huttons boek, het bestrijkt op systematische wijze het hele terrein van de toen bekende geologie. Lyells 'Principles' heeft meer dan enig ander boek de hele geologie een theoretisch fundament gegeven.
Lyell werd geboren in Kinnordy House bij Kirriemuir

Afb. 4. Charles Lyell (1797-1875).



(Angus, Schotland) in het jaar waarin Hutton stierf, 1797. Hij studeerde van 1816-1819 in Oxford, en was bestemd voor een juridische loopbaan, een weg die hij slechts korte tijd en zonder al te veel overtuiging heeft gevolgd. Belangstelling voor de geologie werd al vroeg gewekt door de lectuur van Bakewells 'Introduction to geology' (1813) uit de boekenkast in het ouderlijke huis, en door de colleges van Buckland in Oxford. Toen Lyell in 1827 besloot zich verder helemaal aan de geologie te wijden, had hij waarschijnlijk sinds zijn laatste examen in Oxford al meer tijd aan de geologie besteed dan aan het recht. Verscheidene reizen, zowel in Groot-Brittannië als naar het continent, hadden tot voordrachten en publikaties geleid. Hij schreef bovendien af en toe artikelen en boekbesprekingen voor algemene tijdschriften, zoals de Quarterly Review. In hoeverre hij in 1827 overtuigd was verder van zijn pen te kunnen leven, zoals hij aan zijn vader schreef, of toch ook wel besefte dat hij een telg uit een bemiddeld geslacht was, is moeilijk te zeggen. Zijn positie wordt duidelijk geïllustreerd door zijn rol in de Geological Society, waar hij in 1823 in het bestuur werd gekozen, en zijn verkiezing tot lid van de Royal Society in 1826, al waren de normen toen anders dan nu.
Lyell had reeds in 1827 het plan opgevat een algemeen overzicht van de geologie te schrijven, in de trant van 'Conversations on geology' en bestemd voor een groot publiek. Toen hij in mei 1828 met de Murchisons aan een grote reis naar het vasteland begon, was er reeds een gedeelte geschreven, dat later echter grondig werd herzien. De reis droeg in hoge mate bij tot de kristallisatie van Lyells opvattingen. Na Frankrijk te hebben bezocht, keerden de Murchisons uit het noorden van Italië terug, waarna Lyell alleen verder naar het zuiden trok. Hij bezocht o.a. de Vesuvius en de Etna. Vooral deze laatste vulkaan gaf hem een goed beeld van de lengte van de geologische tijd, en van de betekenis van verticale bewegingen van de aardkorst. Afzettingen die nog altijd de recente fauna van de Middellandse Zee bevatten vond hij op meer dan 1000 m boven het huidige zeeniveau. Lyell keerde in februari 1829 in Engeland terug en vatte dadelijk het werk aan zijn boek weer op. Zijn denkbeelden over de opzet van het boek waren intussen grondig veranderd: niet langer een algemeen, 'neutraal', overzicht, maar een boek bestemd om een geheel nieuwe weg te wijzen in het denken over geologische problemen.
Toen het eerste deel in juli 1830 verscheen, was Lyell dus allerminst een nieuwkomer in de geologie. Het boek was onmiddellijk een succes. Nog voordat het derde deel in 1833 verscheen, waren het eerste en het tweede deel al weer in een nieuwe, herziene druk beschikbaar. Het curieuze gevolg hiervan is dat het derde deel van 1833 zowel tot de eerste als tot de tweede druk behoort.

Adam Sedgwick (1785-1873), van 1818 tot 1873 hoogleraar in de geologie in Cambridge, greep met beide handen de gelegenheid, die de jaarvergadering van de Geological Society op 18 februari 1831 hem als voorzitter bood, om in zijn 'presidential address' het eerste deel aan een uitvoerige bespreking te onderwerpen. Tussen de bewondering die hij aan het begin uitsprak, en het verlangen naar het volgende deel aan het slot, leverde hij scherpe kritiek op wat de essentie van het eerste deel was: het uniformiteitsbeginsel. Sedgwick was geen blinde volgeling van Cuviers revoluties in de aardgeschiedenis, maar hij kon onmogelijk meegaan met de geleidelijke ontwikkeling van Lyell, die de nu nog werkende krachten, en met dezelfde intensiteit, voldoende achtte om alle veranderingen in het verleden te verklaren. Sedgwick behoorde tot een richting die in Engeland wel als het 'convulsionisme' wordt aangeduid. Geleidelijkheid verklaart niet alles, er moeten ook tijden met heftige roerselen zijn geweest.



Afb. 5. Adam Sedgwick (1785-1873), naar een tekening door L. Dickinson, ca. 1867, in het Woodwardian Museum.

Wanneer de kritiek van de beide volgende voorzitters op het tweede en op het derde deel milder uitviel — respektievelijk door Murchison in 1832 en door Greenough in 1835 — was dat zeker gedeeltelijk ook het gevolg van het minder controversiële karakter van deze delen. De kritiek tastte Lyells positie in de geologische wereld niet aan, integendeel: nadat drie opeenvolgende voorzitters in hun jaarrede de 'Principles' kritisch hadden besproken, werd Lyell in 1835 tot voorzitter gekozen!
Dat Lyells 'Principles' een boek is van uitzonderlijke betekenis, is zowel door tijdgenoten als door latere generaties nooit in twijfel getrokken. W.D. Conybeare (1787-1857) noemde het kort na verschijning een boek van zoveel belang dat het welhaast het begin van een nieuw tijdperk in de vooruitgang van de geologie inluidde. Ook degenen die Lyell niet volgden, stemden daar mee in. J. Challinor schreef in 1971 dat het een grotere invloed had op de geologie dan enig boek daarvoor of daarna. Een paar jaar later, ter gelegenheid van de honderdste terugkeer van Lyells sterfdag in 1975, noemde J. Sutton het boek "the most influential in the history of geology". In 1970 verscheen een facsimile-uitgave van de eerste druk. In zijn inleiding tot die herdruk rangschikt M.J.S. Rudwick de 'Principles' onder "the most revolutionary books in the history of science". Minder dan dat was het niet.
Lyell verschafte een grondslag waarop de geologie zich verder kon ontwikkelen als een wetenschap. Dat men nu hier en daar geneigd is iets genuanceerder over de strikte interpretatie van het uniformiteitsbeginsel te denken, doet daar geen afbreuk aan. Lyells eigen opvattingen lijken trouwens tijdens zijn leven ook al te evolueren. Hij besteedde veel zorg en tijd aan de herziening van het boek, dat twaalf drukken beleefde. Interessant is al om te zien hoe de ondertitel nogal eens veranderde. Van de negende

druk (1853) af luidde deze 'The modern changes of the Earth and its inhabitants considered as illustrative of geology'. Dat klinkt minder dogmatisch dan de oorspronkelijke ondertitel van 1830, die trouwens al in de derde druk van 1835 was veranderd in 'An inquiry how far the former changes of the Earth's surface are referable to causes now in operation'.
Oorspronkelijk bevatte het derde deel wat wij nu historische geologie noemen, en was het sterk stratigrafisch georiënteerd. Lyell was uitvoerig over het Kenozoïcum, waar zijn eigen bijdragen belangrijk waren, beknopter over het Mesozoïcum, en nog beknopter over het Paleozoïcum. Geleidelijk werd de opzet evenwichtiger, naarmate vooral het Paleozoïcum beter bekend werd. Na de vijfde druk (1837) verdween het historisch-geologische gedeelte uit de Principles. Het werd in een afzonderlijk boek ondergebracht onder de titel 'The elements of geology' (in sommige drukken 'Manual of elementary geology'), waarvan tussen 1838 en 1865 zes drukken verschenen.
De betekenis van de 'Principles' blijkt ook uit de wijze waarop het een ander voortreffelijk boek, dat in dezelfde tijd verscheen, in de schaduw stelde: ' The manual of geology', van Thomas Henry De la Beche. Dit boek, dat in 1831 voor het eerst verscheen en verscheidene herdrukken beleefde, bestrijkt ongeveer hetzelfde terrein als de 'Principles'. Het is goed geschreven en de stof is logisch gerangschikt. Het is een boek zoals Lyell aanvankelijk voor ogen stond: een overzicht van al het bekende. Maar al schrijvende deed Lyell meer: hij gaf de geologie een leidend beginsel.

Darwin

In de jaren na de scherpe kritiek van Sedgwick op het eerste, meest fundamentele deel van de 'Principles' waren de vergaderingen van de Geological Society niet zelden het toneel van levendige discussies. Lyell had daar natuurlijk ook wel medestanders. Eén van de interessantste figuren onder hen was Charles Darwin (1809-1882). Dikwijls wordt vergeten dat Darwin zich gedurende vijftien jaar van zijn leven hoofdzakelijk met de geologie heeft beziggehouden: gedurende de vijf jaar van de reis om de wereld met de 'Beagle' (1831-1836) en de tien jaar daarna.
Toen hij in december 1831 met de 'Beagle' vertrok, was zijn geologische opleiding gering: colleges bij Jameson in Edinburgh, waar hij twee jaar zonder succes medicijnen studeerde, en colleges bij Sedgwick in Cambridge, waar hij de graad van 'bachelor' behaalde met de bedoeling dominee in de Anglicaanse Kerk te worden. Belangrijker was, dat hij in de zomer van 1831 Sedgwick enige weken assisteerde bij diens veldwerk in het Paleozoïcum van Wales. Darwin leerde er het handwerk van de geoloog. Nog belangrijker was wellicht dat hij tijdens de uitreis met de 'Beagle' naar Zuid-Amerika het eerste deel van Lyells 'Principles' las, en diep onder de indruk raakte van de "wonderful superiority of Lyell's manner of treating geology". Geen wonder dat hij zich onderweg steeds weer met de geologie van de bezochte gebieden bezighield. Na terugkeer in oktober 1836 schreef Darwin eerst het reisverhaal – dat van de tweede druk af een lange, lovende opdracht aan Lyell bevat – en vervolgens drie boeken over de geologische resultaten: koraalriffen (1842), vulkanische eilanden (1844) en de geologie van Zuid-Amerika (1846).
In februari 1835 was Darwin in Chili getuige van de aardbeving die Valparaiso verwoestte. Bewegingen langs breuken, die in het getroffen gebied hoogteverschillen van een meter hadden teweeggebracht, beschouwde hij als de oorzaak van de beving. Herhaalde bewegingen zouden in staat zijn het Andesgebergte tot zijn huidige hoogte op te heffen. In een voordracht voor de Geological Society in 1838, over vulkanische verschijnselen, de vorming van gebergten en de opheffing van continenten, beleed Darwin onomwonden zijn lyelliaanse overtuiging dat de krachten, die wij nu in actie zien, op de lange duur voldoende zijn om ook grote veranderingen in het verleden te verklaren. Men moet hierbij niet vergeten, dat het besef van horizontale krachten bij het ontstaan van gebergten pas in het midden van de tweede helft van de vorige eeuw in de geologie begon door te dringen.
Darwin was een scherp waarnemer. Een enkel voorbeeld moge dit nog illustreren. Darwin nam in de Andes waar, dat druksplijting over grote afstand ongeveer dezelfde richting kon behouden, terwijl de (echte) afzettingsgelaagdheid van richting veranderde door plooiing. Voor Darwin waren druksplijting en gelaagdheid twee verschillende verschijnselen. Nog in 1858 werd dit door Murchison en door A. Geikie krachtig bestreden. Pas later, toen de kartering van de ingewikkeld gebouwde, metamorfe Schotse Hooglanden goed op gang kwam, bleek dat Darwins conclusie de enig juiste was.

Ruzies in het Paleozoïcum

Geleidelijk begon de discussie over principes weg te ebben. Het was duidelijk dat er, ook met beide benen stevig op de grond, ontzaglijk veel te doen viel. Met de oprichting van de Geological Survey of the United Kingdom, in 1835, begon de systematische kartering. Om dat met succes te kunnen doen, was een stratigrafische schaal onontbeerlijk. Vooral wat het Paleozoïcum betreft ontbrak daar nog veel aan. Alles wat onder de Old Red Sandstone lag, was als Greywacke samengevat.
Het complex met koollagen was natuurlijk wegens de economische betekenis goed bekend. Smith gebruikte daarvoor de term 'Coal Measures', en wist ook dat het van de Lias gescheiden was door een groep van veelal rood gekleurde afzettingen. In Engeland kwam daarvoor al spoedig de term 'New Red Sandstone' in gebruik, waarmee werd samengevat wat nu in Perm en Trias wordt onderscheiden. Anders dan op het continent zijn de mariene gedeelten daarvan, de Zechstein en de Muschelkalk, in Engeland van beperkte geografische verbreiding. Eén term voor het geheel, van Buntsandstein tot Rotliegend, lag dus voor de hand.
In hun 'Outlines of the geology of England and Wales' voerden W.D. Conybeare en W. Phillips in 1822 de term 'Carboniferous Order' in, dat zij in vier kleinere eenheden verdeelden (van boven naar beneden): Coal Measures, Millstone Grit, Mountain Limestone (ook wel Carboniferous Limestone genoemd), en Old Red Sandstone. Wat daaronder lag, bleef voorlopig in stratigrafisch opzicht onbekend terrein.
Drie geologen hebben zich in Groot-Brittannië grote verdiensten verworven voor de ontrafeling van dit deel van de stratigrafische opeenvolging: Adam Sedgwick, Roderick Impey Murchison (1792-1871) en Henry Thomas De la Beche (1796-1855). Afb. 5, 6 en 7.
Sedgwick, die een bekwaam veldgeoloog was, had reeds een begin gemaakt in het noorden van Wales. Hij werkte stratigrafisch gezien van de oudste ondergrond (de term Precambrium bestond toen nog niet), zonder fossielen, naar boven. In het zuiden van Wales werkte Murchison van boven naar beneden. hij ging uit van de gemakkelijk herkenbare Old Red Sandstone. Murchison voerde in 1835 het Siluur als stratigrafische eenheid in. In hetzelfde jaar kwam Sedgwick met het Cambrium. In goede harmonie



Afb. 6. Roderick Impey Murchison (1792-1871), naar een schilderij door Stephen Pearce, 1856, in de National Portrait Gallery.

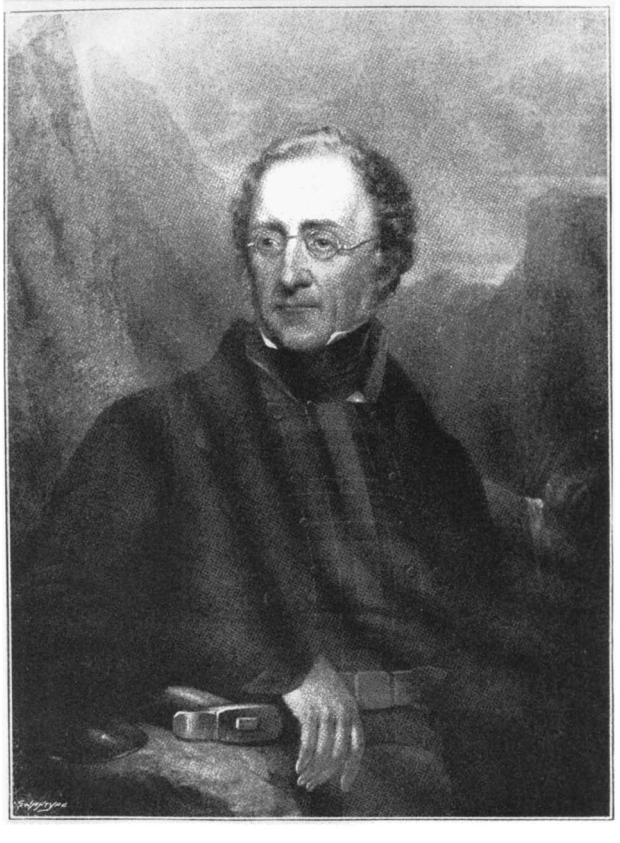
kwamen beiden een grens tussen Cambrium en Siluur overeen.
Bij de voortgang van het werk in Wales werd het echter duidelijk dat wat Murchison Onder-Siluur noemde, overeenkwam met wat volgens Sedgwick Boven-Cambrium was. Wat in feite niet meer was dan een wetenschappelijk meningsverschil, groeide uit tot een bittere strijd, en dat werd er niet beter op toen de Geological Survey Murchisons indeling en terminologie overnam. Sommige tijdgenoten, niet erg geneigd om partij te kiezen in een persoonlijk gevecht tussen twee bekwame en invloedrijke geologen, gingen er allengs toe over om dan maar op een enigszins informele wijze drie eenheden tussen Precambrium en Old Red Sandstone te onderscheiden. In deze zin werd het probleem tenslotte door Charles Lapworth (1842-1920) in 1879 definitief opgelost met de invoering van de term Ordovicium voor het omstreden gedeelte. In Groot-Brittannië vond dit Salomonsoordeel spoedig algemeen ingang, al aanvaardde de Survey het Ordovicium pas in 1900.
Buiten Groot-Brittannië, vooral in Frankrijk en in Duitsland, bleef de term Siluur in de oorspronkelijke, ruime, betekenis van Murchison nog lang in zwang. Het Siluur werd dan onderverdeeld in Ordovicium en Siluur in beperkte zin. Om de verwarring te vermijden die de laatste term veroorzaakte, kwam Gotlandium als vervangende term in gebruik.
Intussen was De la Beche in het zuidwesten van Engeland met de kartering begonnen. Voordat hij in 1835 de eerste directeur van de Geological Survey werd, was hem reeds in 1832 (op zijn eigen voorstel) opgedragen de topografische kaarten geologisch te kleuren. Hij was evenals Murchison voor een militaire loopbaan bestemd, maar na de Napoleontische oorlogen leek er op het slagveld weinig eer meer te behalen. Beiden richtten hun belangstelling op andere zaken. In het geval van De la Beche kwam daar bij dat hij naar andere inkomsten uitkeek toen zijn bezittingen op Jamaica niet veel meer opleverden. Hij was nog een afstammeling van een Franse adellijke familie, die Willem de Veroveraar in 1066 naar Engeland was gevolgd. Bij Murchisons keuze voor de geologie schijnt diens echtgenote van grote invloed te zijn geweest.
In december 1834 werd in de vergadering van de Geological Society een collectie planten vertoond, die door De la Beche in de Culm van Devonshire was verzameld. Aangezien de gesteenten van Devonshire (en Cornwall) in niets leken op wat toen al stratigrafisch van de Old Red Sandstone en het hogere Carboon bekend was, hield De la Beche alle gesteenten van die twee graafschappen voor Greywacke. De platen moesten bovendien stratigrafisch diep uit de Greywacke komen, want ook van Siluur was niets terug te vinden. De fossielen wekten onmiddellijk de woede op van Murchison, en dat leidde in de vergadering tot "a scene far removed from the Society's gentlemanlike norm of behavior". Murchison ging er nl. 'per definitie' van uit, dat de Greywacke stamde uit een tijd toen er nog geen landflora bestond. Het was dus onmogelijk daar overblijfselen van landplanten te verzamelen, laat staan landplanten die nog sterk aan die van het Carboon deden denken.
Murchison en Sedgwick togen daarop samen naar Devonshire, en vonden dat de structurele interpretatie van De la Beche onhoudbaar was. De strijd werd daardoor nog heviger. De la Beche vreesde, niet helemaal ten onrechte, dat zijn competentie als geoloog in het geding zou komen, te meer omdat de discussie in volle hevigheid voortwoedde tijdens de vergadering van de British Association for the Advancement of Science in Bristol in 1836, nog wel onder de ogen van de minister van financiën die de geldmiddelen voor de Survey moest goedkeuren!
Met een grote synclinale structuur van Devonshire, werd de Culm het jongste lid van de opeenvolging. Dat maakte de zaak al iets gemakkelijker. De vraag was dus nu: wat is de ouderdom van de lagen eronder? Fossielen, o.a. koralen uit kalklagen bij Torquay en elders, waren volgens John Phillips en W. Lonsdale ouder dan Carboniferous Limestone en jonger dan Siluur. Dit bracht Murchison en Sedgwick in 1839 tot een gezamenlijke publikatie – hun vriendschap was toen nog niet in het dispuut over de afbakening van Cambrium en Siluur ten onder gegaan – waarin zij het Devoon als een nieuwe eenheid tussen Siluur en Carboon invoerden. Zij deden dat met tegenzin. Het loste weliswaar het probleem van de planten van De la Beche op: die konden nu als Carboon worden beschouwd. Ook het verschil tussen de gesteenten van Devonshire en van het Siluur van Wales werd opgelost: de eerste waren geen Greywacke. Maar wat bleef was het grote verschil tussen het Devoon van Devonshire en de blijkbaar even oude Old Red Sandstone van Wales.
Terugkijkend kan men natuurlijk gemakkelijk vaststellen dat de kern van alle moeilijkheden lag in een gebrek aan gevoel voor faciësveranderingen. Dit betrof de verhouding tussen het nieuwe, mariene Devoon van Devonshire en de reeds lang bekende Old Red Sandstone, en evenzeer die tussen de Culm van Devonshire en de reeds lang bekende Ondercarbonische Mountain Limestone. De la Beche heeft er geen ogenblik aan gedacht dat de Culm het equivalent, met een heel ander aanzien, van de Carbonische kalk zou kunnen zijn. Mede daardoor kwam hij tot een verkeerde interpretatie van de structuur van Devonshire. Zowel de Old Red Sandstone als de Mountain Limestone heeft verder naar het noorden in Engeland een grote verspreiding, maar toen men in het zuidwesten een heel andere faciës tegenkwam, rezen direct grote moeilijkheden.
Toen De la Beche in 1855 overleed, volgde Murchison hem op als directeur van de Survey. De mededeling van

diens benoeming werd in het Lagerhuis door de leden met gejuich ontvangen. Men ziet dat hier in de Tweede Kamer niet zo vlug gebeuren. Murchison bleef directeur tot zijn dood in 1871. Gedurende de eerste 36 jaren van het bestaan van de Geological Survey was de leiding in handen van twee grote figuren uit de geschiedenis van de geologie, die geen van beiden enige formele opleiding in die richting hadden genoten.
Omstreeks het midden van de vorige eeuw was de stratigrafische opeenvolging in grote trekken bekend. Verbeteringen en verfijningen werden geleidelijk ingevoerd, een proces dat nog steeds doorgaat. Dat de eenheden van de stratigrafische schaal ieder een zekere tijdsduur vertegenwoordigen, werd algemeen ingezien. De stratigrafische schaal stelde dus tegelijkertijd een geologische tijdschaal voor. Het was een relatieve schaal, waarmee echter voortreffelijk te werken viel.

Vooruitgang zonder schokken

De grondslagen die in de decenniën omstreeks 1800 waren gelegd, hadden in de eerste helft van de negentiende eeuw tot een spectaculaire ontwikkeling van de geologie geleid. In de tweede helft van de eeuw bouwde men daar rustig op voort. Het leidde wel tot een indrukwekkende groei van kennis, maar het leverde minder verrassingen op.
De behoefte om de rijke oogst aan fossielen goed gedocumenteerd met platen bekend te maken, leidde in 1847 tot de oprichting van de Palaeontographical Society. De nog altijd voortgaande reeks fraaie monografieën is een monument van degelijk systematisch werk. Stof voor verhitte discussies leverden zij echter niet op. Hetzelfde kan gezegd worden van de vele verhandelingen die de Geological Survey liet verschijnen, hetzij als toelichting bij de kaartbladen, hetzij over bepaalde onderwerpen, zoals de vijf delen over de Jura, of de drie delen over het Krijt. Zij vormen nog altijd een rijke bron van gegevens, maar niet van heftige meningsverschillen. Toch springen er in die rustige ontwikkeling wel een paar punten van bijzondere betekenis naar voren.

Afb. 7. Henry Thomas De la Beche (1796-1855).



De structurele geologie wordt volwassen

Onder leiding van bekwame geologen, zoals A.C. Ramsay (1814-1891), directeur van 1871-1881, en Archibald Geikie (1835-1924), directeur van 1882-1901, drong de Survey geleidelijk door in gebieden die niet meer zo eenvoudig van bouw zijn als grote delen van Engeland. Vooral de kartering in Schotland gaf aanleiding tot diepgaande verschillen van inzicht. Murchison, daarin gesteund door Ramsay en Geikie, zag in de gesteenten van de Schotse Hooglanden overal een normale opeenvolging. Anderen, onder wie James Nicol, hoogleraar in Aberdeen, een der eersten was, hadden moeite om te aanvaarden dat sterk door metamorfose beïnvloede micaschisten jonger zijn dan fossielhoudende afzettingen waarop zijn rusten. Nicol dacht eerder aan de invloed van breuken, waarlangs oudere gesteenten over jongere konden zijn geschoven. Ook Lapworth kwam tot een dergelijke conclusie. Hoewel de discussie al in de vijftiger jaren begon, duurde het tot 1884 voordat het pleit definitief ten gunste van overschuivingen werd beslecht. Tegelijkertijd werd daarmee een geweldige stap voorwaarts gedaan in de ontwikkeling van de structurele geologie, een tak van de geologie die in de eerste helft van de vorige eeuw nauwelijks bestond.

Geboorte van de 'Glacial Period'

Een ander punt waar de meningen botsten was dat van het jongste geologische verleden. Smith had de oppervlakkige lagen, die de 'echte' geologie maar al te vaak aan het oog onttrekken, op zijn kaarten buiten beschouwing gelaten. Zowel in de dagen van Smith als daarna, werden zij dikwijls aangeduid met de term 'Extraneous Rubbish', en dat laat al zien dat zij aanvankelijk niet de aandacht van geologen trokken. Om de zwerfstenen, soms van formidabele afmetingen, kon men moeilijk heen. Lyell had hun voorkomen verklaard door aan te nemen dat zij met ijsbergen over zee waren aangevoerd ('drift theory').
In Zwitserland was in de jaren dertig van de vorige eeuw al de opvatting ontstaan, dat de Alpengletsjers niet zo lang geleden een veel grotere uitbreiding moeten hebben gehad en tot ver buiten het eigenlijke gebergte naar beneden waren geschoven. Toen Agassiz in 1840 Groot-Brittannië bezocht maakte hij met Buckland en Murchison een excursie in Schotland. Bij die gelegenheid overtuigde hij Buckland ervan dat ook in Schotland de 'Boulder Formation', de afzetting met de grote stenen, rechtstreeks door gletsjers is ontstaan. Voor Buckland was die bekering een grote stap. Hij was altijd een vurig voorvechter geweest van de zondvloed (waar het Diluvium zijn naam aan ontleende). Behalve hoogleraar in Oxford, was Buckland een man van gezag in de Anglicaanse Kerk: Canon van Christ Church, en later Dean van Westminster. Murchison bleef terughoudend, maar Lyell aanvaardde de 'glacial theory' zonder moeite. Hij zag in dat allerlei moeilijkheden in zijn 'drift theory' met de nieuwe theorie opgelost werden.
Alvorens naar Zwitserland terug te keren, gaf Agassiz op 4 november 1840 in de vergadering van de Geological

Society nog een voordracht over de bewijzen voor het bestaan van gletsjers in Schotland, Ierland en Engeland. Hoewel men in Groot-Brittannië deze dag gewoonlijk beschouwt als de geboortedag van de 'Glacial Period', bleef er aanzienlijke weerstand tegen de zienswijze van Agassiz. Dat werd er niet beter op toen hij als zijn overtuiging uitsprak, dat alle landen waar morenes en daarmee verwante afzettingen voorkomen, eens door een reusachtige ijskap, vergelijkbaar met die van Groenland, bedekt moeten zijn geweest. Gletsjers uit de Grampians afdalend, kon men nog wel aanvaarden, maar een groot deel van Europa onder een ijskap, dat ging de meeste toehoorders toch te ver. Het zou nog enige tientallen jaren duren voordat Torell in 1875 met zijn landijstheorie de weerstand tegen zo'n radicale opvatting deed wegsmelten.

De tijd gemeten

De relatieve tijdschaal die omstreeks het midden van de negentiende eeuw in grote trekken voltooid was, verschafte geen enkel aanknopingspunt voor de geologische tijd in een objectieve maat. Vooral voor de voorstanders van een lange tijdschaal bleef dat een intrigerend probleem. Lyell besefte heel goed dat zijn uniformiteitsbeginsel alleen houdbaar was als er voldoende, d.w.z. zeer veel, tijd beschikbaar was geweest. Dat hij daarbij Darwin ook weer aan zijn zijde vond, zal niemand verbazen. Beiden hebben wel getracht een schatting in jaren te maken.
Lyell was goed thuis in de Kenozoïsche molluskenfauna's — Eoceen, Mioceen, Plioceen en Pleistoceen zijn door hem ingevoerd — en ontwikkelde een kwantitatieve maat voor de veranderingen van de fauna. Uitgaande van de Pleistocene vergletsjeringen, waarvoor James Croll op grond van astronomische berekeningen een getal in jaren had gegeven, kwam Lyell door vermenigvuldiging op 70 miljoen jaar voor het begin van het Kenozoïcum. Verder teruggaan leverde meer moeilijkheden, doordat de fauna's niet goed meer met dezelfde kwantitatieve maat gewaardeerd konden worden. Het getal dat hij gaf voor het begin van het Cambrium, 240 miljoen jaar, was dus minder betrouwbaar. Ondanks de zeer dubieuze rekenwijze — zowel de kwantitatieve waardering van de faunistische veranderingen door Lyell, als het getal in jaren van Croll, is, voorzichtig uitgedrukt, aanvechtbaar — waren de uitkomsten verrassend goed: 70 miljoen waar wij nu 65 miljoen zouden zetten, en 240 miljoen in plaats van een getal niet ver onder de 600 miljoen. Veel belangrijker is dat Lyell geen moeite had die getallen te aanvaarden. De meeste van zijn tijdgenoten viel dat niet zo gemakkelijk.
Darwin heeft eens uitgerekend dat met het tegenwoordige tempo van erosie 300 miljoen jaar nodig zijn geweest om de Wealden-afzettingen (Onder-Krijt) in de Weald-anticlinale aan de oppervlakte te brengen. Dat getal was dus nog extravaganter, zoals tijdgenoten het noemden, dan de getallen van Lyell.
De sceptici hadden een machtige steun in de natuurkundige William Thomson (later Lord Kelvin). Op grond van berekeningen over de warmtehuishouding van de aarde kwam Thomson in 1868 tot de conclusie dat de ouderdom van onze planeet hoogstens 100 miljoen jaar kon zijn. In het volgende jaar leverde hem dat een felle botsing op met de altijd strijdbare kampioen van het darwinisme, Thomas Henry Huxley. Thomson hield geen rekening met de aanwezigheid van een inwendige aardse warmtebron in de vorm van radioactieve elementen. In die dagen kon hij dat ook niet doen. Het gevolg is wel dat de grondslag aan zijn berekening ontvalt. Zo gezien waren de berekeningen van Lyell en van Darwin toch nog betrouwbaarder. Dank zij het grote gezag dat Thomson genoot, waren de meeste



Afb. 8. William Buckland (1784 - 1856)

geologen maar al te graag bereid hem te volgen. In latere jaren heeft Thomson het getal van 100 miljoen nog verder teruggebracht. De laatste keer dat hij zich met dit onderwerp bezighield, bood hij de geologen niet meer dan tussen 40 en 20 miljoen jaar aan voor de ouderdom van de aarde. Dat was in 1897, een jaar nadat H. Becquerel het verschijnsel der radioactiviteit ontdekte, een verschijnsel dat in de twintigste eeuw een omwenteling in de geologische tijdrekening teweeg zou brengen.

LITERATUUR

Deze lijst is met opzet beperkt gehouden. De meeste van de in de tekst genoemde werken zijn met de daar vermelde gegevens gemakkelijk te vinden. Van de meeste hoofdrolspelers in de Britse geologie van de vorige eeuw bestaan redelijke tot goede biografieën. Zij zijn te vinden met behulp van het hieronder genoemde werk van J. Challinor, dat ook van een groot aantal 'klassieke' publikaties volledige bibliografische gegevens bevat.
Bailey, E. (1952) — The Geological Survey of Great Britain. xii, 278 pp. Thomas Murby & Co., London.
Bailey, E. (1962) — Charles Lyell. x, 214 pp. Thomas Nelson & Son Ltd., London etc. (Een goede, beknopte biografie).
Challinor, J. (1971) — The history of British geology. A bibliographical study. 224 pp. David & Charles, Newton Abbot.
Craig, G.Y. (ed.) (1978) — James Hutton's Theory of the Earth: the lost drawings. (iv), 67 pp. + portefeuille. Scottish Academic Press, Edinburgh.
Eyles, V.A. (introd.) (1973) — James Hutton's System of the Earth, 1785; Theory of the Earth, 1788; Observations on granite,

1794; together with Playfair's Biography of Hutton. (Facsimiles of the original editions) xxiii (iii), 203 pp. (Contrib. Hist. Geol. 5), Hafner Press, New York.
Wilson, L.G. (1972) – Charles Lyell. The years to 1841: The revolution in geology. xiii (i), 553 pp. Yale Univ. Press, New Haven and London. (Het eerste, en tot nu toe enige, deel van een nieuwe, uitvoerige biografie met gebruikmaking van veel nieuw materiaal.)
Woodward, H.B. (1908) – The history of the Geological Society of London. xix (i), 336 pp. Longmans, Green & Co., London.

Historische plaatsen in Groot-Brittannië

Salisbury Crags, Edinburgh
Langs Queen's Drive, aan de westkant van Holyrood Park: een dolerietische intrusieplaat van Carbonische ouderdom, door Hutton terecht als een magmatische intrusie geïnterpreteerd. Darwin bezocht deze ontsluiting met een excursie onder leiding van Jameson, en overtuigde zich met eigen ogen dat de Werneriaanse verklaring van Jameson (als een normale opeenvolging van aquatische formaties) onmogelijk juist kon zijn.

Siccar Point (Berwickshire)
Klassieke hoekdiscordantie van Upper Old Red Sandstone op steil staande Lower Old Red Sandstone en Siluur (gevolg van Middendevonische bewegingen). De betekenis van het verschijnsel werd door Hutton goed begrepen. Volg van Edinburgh de A1 via Dunbar naar het zuiden, 1 km voorbij Cockburnspath linksaf, over de spoorweg en 600 m verder weggetje linksaf nemen, op volgende splitsing rechts naar oude groeve (parkeren), vandaar is de kust gemakkelijk bereikbaar.

Sligh Houses (ook wel Slighhouses) (Berwickshire)
Huttons boerderij, waar hij van 1754 tot 1768 woonde. Ga van Siccar Point terug naar de A1, volg deze verder naar het zuiden, na ca. 5 km in Grantshouse rechtsaf (A6112), na ca. 1,5 km linksaf, op kruising met B6438 rechtdoor, minder dan 1 km verder Sligh Houses aan de rechter hand.

Churchill (Oxfordshire)
De geboorteplaats van William Smith; er staat sinds 1891 een gedenkteken voor hem.

Bath (Avon)
Er is een gedenkplaat aan het huis waar Smith van 1795 tot 1798 woonde (Broomfield Crescent, middelste huis).

Kinnordy House (Angus)
Lyell werd hier in 1797 geboren, en keerde er later herhaaldelijk terug, soms om er rustig te schrijven. Gewoond heeft hij er na zijn jeugd niet meer. (Het huis in Londen waar hij het grootste deel van zijn leven gewoond heeft, Hartley Street, bestaat niet meer.) Kinnordy House is nog altijd in handen van de Lyell-familie, en bewoond. Het ligt 1 km noordwest van Kirriemuir (8 km westnoordwest van Forfar. Men kan er van de weg af een blik op werpen. Het huis heeft door verbouwingen en toevoegingen veel van zijn achttiende eeuwse bekoring verloren.

Down House, Downe (Kent)
Darwin leefde en werkte hier van 1842 tot zijn dood in 1882. De benedenverdieping, die zo goed mogelijk is teruggebracht in de oorspronkelijke staat, kan bezocht worden. Ook door de omgeving zeer de moeite waard.
Downe ligt niet ver van Bromley, aan de zuidoostelijke rand van de Londense agglomeratie, aan de rand van de North Downs (noordflank van de Weald-anticlinale). Het is uit Londen (Victoria Station) per bus gemakkelijk bereikbaar.

Knockan Cliff (Sutherland)
Eén van de klassieke punten die in het geding waren tijdens de discussie over de structuur van de Schotse Hooglanden. Door de zorgen van de Nature Conservancy Council is een geologisch pad uitgezet, dat, voorzien van goede toelichting, een duidelijk beeld geeft van de moeilijkheden waar het om draaide.
Knockan ligt 2 km ten zuiden van Elphin (Sutherland), aan de A835 naar Ullapool (Ross & Cromarty).

POLYMORFIE

E.A.J. Burke
Instituut voor Aardwetenschappen
Vrije Universiteit, Amsterdam

Inleiding

Mineralen zijn in de natuur gevormde chemische verbindingen met een kristallijne structuur: hun samenstellende atomen of ionen zijn in drie dimensies ordelijk gerangschikt. Sommige chemische verbindingen hebben de eigenschap dat zij hun atomen of ionen op meer dan één manier ordelijk kunnen rangschikken: deze verbindingen kunnen in verschillende structuren kristalliseren. Die eigenschap noemt men **polymorfie**, de letterlijke "vertaling" van deze term op basis van de samenstellende Griekse woorden is **veelvormigheid**. De verschillende structuren van één enkele chemische verbinding zijn de polymorfe modificaties, of kortweg de polymorfen. Calciet en aragoniet zijn polymorfe mineralen: zij hebben dezelfde chemische samenstelling (calcium-carbonaat, $CaCO_3$), maar verschillende kristalstructuren (Afb. 1). Dit verschil in inwendige bouw komt tot uiting in totaal verschillende kristalvormen voor de beide mineralen (Afb. 2). Deze veelvormigheid was in 1821 voor Mitscherlich de aanleiding tot het ontdekken van het verschijnsel.

Wurtziet en sfaleriet zijn eveneens polymorfe mineralen: beide hebben dezelfde chemische samenstelling (zinksulfide, ZnS), maar zij hebben verschillende structuren en kristalvormen (Afb. 3). Pyriet en markasiet zijn de polymorfen van FeS_2, ijzer-disulfide; de verbinding TiO_2 (titaan-dioxide) vormt drie polymorfe mineralen: rutiel, anataas en brookiet; de drie kalium-veldspaten sanidien, orthoklaas en mikroklien zijn de drie polymorfen van $KAlSi_3O_8$, kalium-aluminium-silicaat. Van SiO_2, silicium-dioxide, kennen we zelfs 10 polymorfe modificaties, waarvan kwarts, tridymiet en cristobaliet de meest bekende zijn.

Omdat polymorfe mineralen verschillende structuren hebben, zijn hun fysische eigenschappen ook verschillend. Het meest extreme voorbeeld van die verschillen wordt gevormd door de twee polymorfen van het element koolstof, grafiet en diamant:

	GRAFIET	DIAMANT
kristalsysteem	hexagonaal	kubisch
splijting	1 richting	4 richtingen
Mohs hardheid	1-2	10
dichtheid (g/cm^3)	2,2	3,5
glans	metaalglans	diamantglans
kleur	zwart, opaak	kleurloos, doorzichtig.