STRATIGRAFIE:

Principes en methoden bij de onderverdeling van de geologische opeenvolging

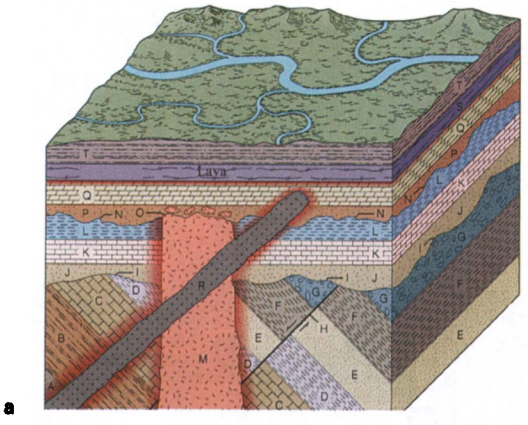
door Andrzej A. (André) Slupik *)

In het Gea-nummer van september 2005 werd het artikel gepubliceerd met de titel Stratigrafie (De Vries, 2005). In dat artikel is de historische ontwikkeling besproken van de stratigrafische wetenschap.
In onderstaand artikel worden de doelstelling en de belangrijkste methodologische aspecten van de stratigrafie besproken. Nadruk ligt op het analyseren en onderverdelen van de geologische *record* op basis van zijn diverse eigenschappen.

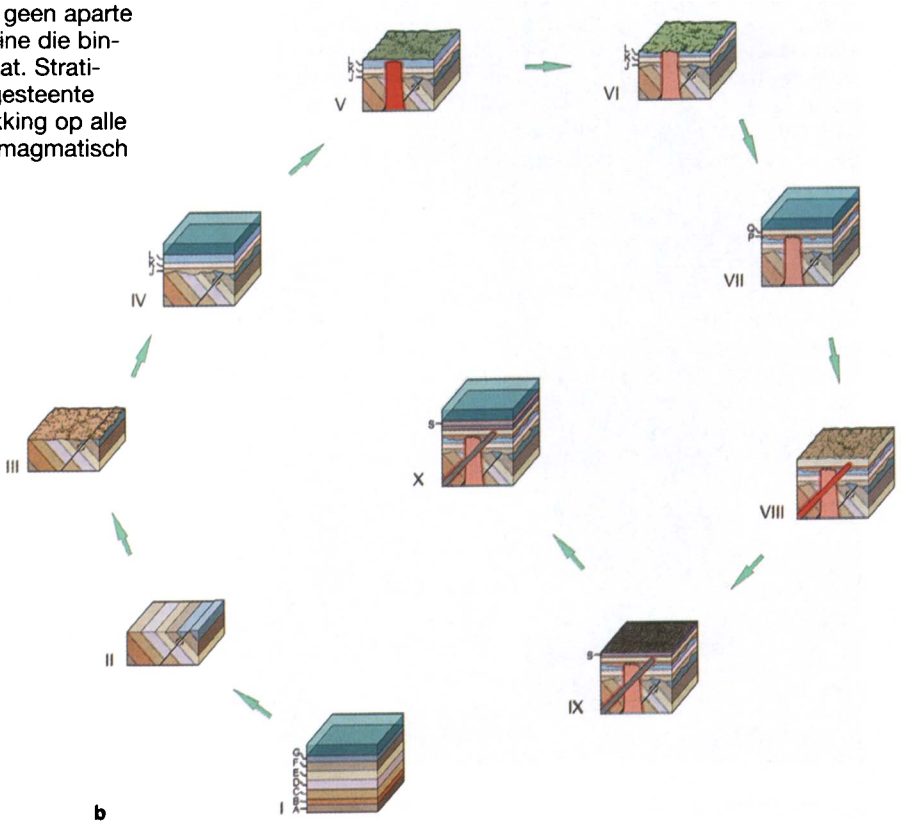
Stratigrafie is een discipline die zich bezighoudt met het classificeren, onderverdelen, analyseren en beschrijven van gesteenten op basis van hun positie tegenover andere gesteenten. Stratigrafie is de studie van geologische opeenvolgingen en interpretatie van deze opeenvolgingen in termen van gebeurtenissen in de aardse geschiedenis. Het doel van de stratigrafie is het ordenen van gesteente conform de volgorde van het ontstaan. Dit leidt tot het onderverdelen van de aardse geschiedenis (periodisatie). Het bedrijven van de op een dergelijke manier begrepen stratigrafie leidt tot het vaststellen van de relatieve ouderdom van gesteentepakketten, dus tot het vaststellen welk gesteente ouder is (eerder is ontstaan), welk gesteente jonger is, of eventueel tot het vaststellen dat de gesteenten dezelfde ouderdom hebben (Figuur 1).

Hoewel het begrip stratigrafie afgeleid is van de begrippen *stratum* (de laag) en *grapho* (het beschrijven), is de stratigrafie geen beschrijvende wetenschap met betrekking tot gesteenten (zoals b.v. petrografie). Stratigrafie is geen aparte wetenschap maar een wetenschappelijke discipline die binnen de geologische wetenschappen centraal staat. Stratigrafie houdt zich niet alleen bezig met gelaagd gesteente maar de regels van de stratigrafie hebben betrekking op alle genetische categorieën gesteenten: afzettings-, magmatisch en metamorf gesteente.

Het bepalen van de absolute ouderdom van het gesteente (geochronometrie) is een onafhankelijke procedure maar in sommige gevallen is het complementair tegenover stratigrafie, d.w.z. het is mogelijk om ouderdomsbepalingen die zijn vastgesteld door de geochronometrie door de stratigrafie te verifiëren en andersom.



a



b

Afb. 1. Principe van de relatieve datering van gesteentepakketten en reconstructies van de geologische geschiedenis
a Blokdiagram van een hypothetisch gebied
b Fasen van de geologische geschiedenis in chronologische volgorde (I t/m X) die leidden tot het ontstaan van de situatie afgebeeld in a.

I de lagen A, B, C, D, E, F en G werden gedeponeerd in een marien sedimentair bekken
II opheffing, kanteling en breukvorming
III erosie
IV mariene transgressie en depositie van de lagen J, K en L
V magmatische intrusie
VI opheffing en erosie
VII transgressie en depositie van lagen P en Q
VIII intrusie (gang)
IX lava-uitvloeiing (S)
X transgressie en depositie van laag T
(volgens Monroe & Wicander, 2002 - veranderd)

*) Adres van de auteur: Ir. A.A. Slupik, Natuurmuseum Rotterdam, Westzeedijk 345, 3015 AA Rotterdam, slupik@nmr.nl

De essentiële begrippen van de stratigrafie zijn: stratigrafische classificatie, stratigrafische eenheid, stratotype en stratigrafische correlatie.

Stratigrafische classificatie
Deze heeft betrekking tot het vaststellen van de normale opvolging van gesteentelagen en alle andere steenmassa's (Engels: *rock bodies*) in de aardkorst en het groeperen van die lichamen in eenheden (conform de indeling). Als criteria voor de stratigrafische classificatie kunnen diverse eigenschappen en componenten van gesteenten genomen worden. Er bestaan dus verschillende categorieën van stratigrafische classificatie.

Stratigrafische eenheid
Hieronder wordt verstaan het gesteente of meerdere gesteenten die verbonden zijn door tijdruimtelijke opeenvolging, die volgens de genomen criteria een eenheid vormen binnen de classificatie. Het begrip gesteente (als stratigrafische eenheid) betekent de stof waaruit een geologisch lichaam bestaat, die gekenmerkt wordt door gelijkblijvende samenstelling binnen zijn grenzen, en als zelfstandig onderdeel deel uitmaakt van de aardkorst. Stratigrafische eenheden omvatten alleen materiële lichamen - gesteenten dus.
De perioden van de geologische tijd, gedefinieerd ten behoeve van de tijdcorrelatie (geochronologische eenheden), vallen niet in de categorie van de stratigrafische eenheden.
Stratigrafische eenheden van de ene categorie hoeven niet overeen te komen met de eenheden van de andere categorie.
Het definiëren van de stratigrafische eenheid is de procedure van aanwijzen (bepalen) van de grenzen van die eenheid. Binnen die grenzen bevindt zich de stratigrafische eenheid. De grenzen moeten kort en duidelijk gedefinieerd zijn op basis van de diagnostische eigenschappen van het gesteente.
De karakteristiek van de eenheid omvat het beschrijven van haar inhoud.
Een gesteentelichaam is een driedimensionaal (ruimtelijk) object, dat zich van andere gesteentelichamen onderscheidt door zijn petrologische, fysisch-chemische of paleontologische kenmerken. Die kenmerken zijn o.a. onder- en bovenvlak van de lagen, min of meer scherpe veranderingen van de lithologie of chemische samenstelling, veranderingen van fossieleninhoud, verandering van de fysische eigenschappen. Stratigrafie houdt zich niet alleen bezig met de gelaagde gesteenten *sensu stricto* maar ook in dezelfde mate met niet-gelaagde sedimentaire gesteenten en alle andere gesteenten.
Tabel 1 geeft een overzicht van de formele stratigrafische eenheden.

Stratotype (typesectie)
Dit is een geologische sequentie in een ontsluiting of in de boorkern die de gesteenteopeenvolging bevat die aangewezen is als type voor een stratigrafische eenheid of stratigrafische grens. Op basis van die sequentie is de eenheid (en/of de grenzen van die eenheid) gedefinieerd. Een stratotype vormt dus een standaardsequentie en dient als referentie-opeenvolging in de stratigrafische classificaties. Een stratotype moet een basis vormen voor een ondubbelzinnige en uniforme definitie van de stratigrafische eenheid.
Het stratotype van de stratigrafische eenheid bestaat meestal uit een ononderbroken opeenvolging in een locatie (in ontsluiting of in boorkern) maar kan ook een composiet-karakter hebben. In dat laatste geval bestaat het stratotype uit geologische opeenvolgingen in diverse locaties die samen een type-opeenvolging vormen (composiet-stratotype).

Categorieën van de stratigrafische classificatie

Zoals al werd gezegd, kan de basis van de stratigrafische classificatie elke eigenschap van het gesteente zijn, maar in principe zijn er drie categorieën: lithostratigrafie, biostratigrafie en chronostratigrafie. Deze drie categorieën komen overeen met de drie principiële aspecten van de stratigrafie die, uit het oogpunt van het doel van het onderzoek, een ondeelbare taak van de geologische wetenschap vormen. In het laatste decennium is aan deze drie genoemde categorieën de magnetostratigrafie toegevoegd.
Lithostratigrafie, biostratigrafie en magnetostratigrafie zijn gebaseerd op de fysieke inhoud van het gesteente (respectievelijk lithologie, fossieleninhoud en *record* van polarisatie van het aardse magnetische veld op het moment van vorming van het gesteente). De chronostratigrafie baseert zich daarentegen op de gesteentepakketten die in een bepaalde tijdperiode zijn ontstaan.

Lithostratigrafische classificatie omvat het ordenen van het gesteente, gegroepeerd in eenheden op basis van lithologische criteria.
Biostratigrafische classificatie omvat het ordenen van het gesteente, gegroepeerd in de eenheden op basis van fossielen en daarvan voornamelijk de zgn. gidsfossielen die zich in dat gesteente bevinden.
Magnetostratigrafische classificatie omvat het ordenen en groeperen van gesteente in de stratigrafische eenheden op basis van gelijkenis van hun magnetische eigenschappen. Deze magnetische eigenschappen zijn de afspiegeling van de geschiedenis van de abrupt veranderende polarisatie van het magnetische veld van de aarde.
Chronostratigrafische classificatie omvat het ordenen van het gesteente op basis van de ouderdom en tijdrelaties en is niet direct afgeleid van de stratigrafische correlatie die verricht is op basis van paleontologische criteria (biostratigrafie), lithologische criteria (lithostratigrafie) en/of magnetische criteria (magnetostratigrafie).

Andere categorieën van de stratigrafische classificatie ordenen het gesteente op basis van seismische eigenschappen, elektrisch geleidingsvermogen, geochemische factoren zoals b.v. koolstofisotopen, condities van ontstaan bepaald door lithogenese of bepaald door sedimentaire milieus inclusief cyclische sedimentatie, paleoklimaat, horizonten van discontinuïteit, etc.

Stratigrafische categorieën	**Stratigrafische eenheden**
Lithostratigrafie	Supergroep Groep **Formatie** Laagpakket Laag
Biostratigrafie	**Biozone** Subzone
Magnetostratigrafie	**Magnetozone**
Andere categorieën	Geen regels, maar meestal zone met adequaat prefix

Tabel 1
Stratigrafische categorieën (linker kolom) en stratigrafische eenheden binnen die categorieën (rechter kolom).
De basiseenheden binnen de stratigrafische eenheden zijn vet aangegeven.

Een heel belangrijk begrip hierbij is de interne homogeniteit van de stratigrafische eenheden die aangeduid wordt door de term eenheid (*unit* in het Engels). Daarentegen behandelen sommige stratigrafische categorieën (o.a. allostratigrafie, sequence-stratigrafie) niet homogene gesteentepakketten maar alle gesteenten die zich binnen bepaalde grenzen bevinden.

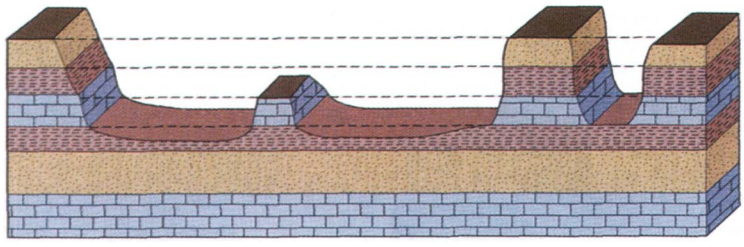
Er bestaan formele en niet-formele stratigrafische eenheden. De formele eenheden zijn die eenheden van lithostratigrafische, biostratigrafische, magnetostratigrafische of chronostratigrafische classificatie, die gedefinieerd en genoemd zijn conform de richtlijnen van de *International Subcommission on Stratigraphic Classification* of IUGS (Murphy & Salvador, 1999; Salvador, 1994). Alle andere eenheden hebben de status van niet-formele eenheden. Het gebruiken van niet-formele eenheden kan betekenis hebben voor analytische doeleinden en ook voor het onderzoek aan kleinere gebieden.
Men moet trachten om die niet-formele eenheden die belangrijke, meer dan lokale fasen in de geschiedenis van de lithosfeer afspiegelen te formaliseren. We zien dus, dat een zeer belangrijk criterium bij het definiëren van de eenheden hun bruikbaarheid is.

Eenheden van lokale, regionale en globale betekenis

Verschillend verloop van de aardse geschiedenis in de verschillende gebieden, regionale differentiatie van petrogenetische verschijnselen en geografische verscheidenheid van de levende organismen zijn de belangrijkste oorzaken van verschillen in de opeenvolging van de lagen in diverse gebieden. In deze situatie hebben de stratigrafische eenheden een lokale betekenis. Voornamelijk heeft dit betrekking op de lithostratigrafische eenheden maar ook veel biostratigrafische *units* hebben lokaal karakter omdat ze dikwijls gedefinieerd zijn op basis van het paleo-geografisch beperkte verspreidingsgebied van de organismen. Bovendien hebben ook de chronostratigrafische eenheden soms slechts een lokale betekenis. Dit komt voor in gebieden waar het definiëren beperkt wordt door gebreken in correlatietechniek en gebrek aan (gids)fossielen.

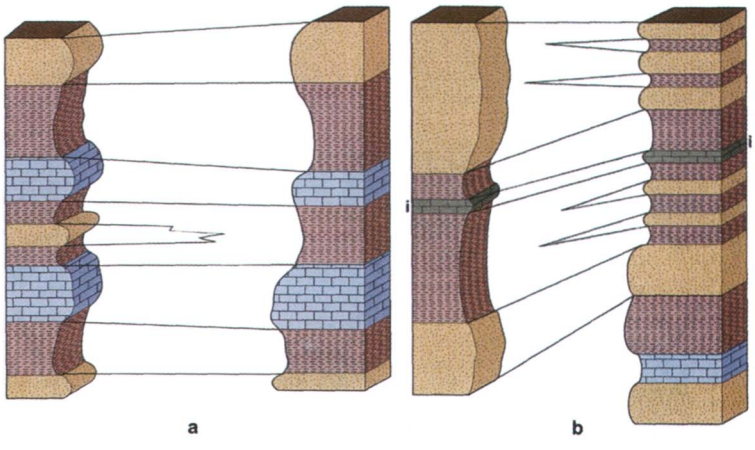
Stratigrafische correlatie

Slechts een deel van de gebeurtenissen die in de geologische geschiedenis van de aarde plaatsvonden is in de geologische *record* bewaard gebleven en die *record* is op de afzonderlijke plekken zeer fragmentarisch en gebrekkig. Dit komt door de dynamiek van de aarde en de complexiteit van geologische processen die zich op de aarde afspelen en die maken dat op het oppervlak van de aarde en in de aardkorst voortdurend veranderingen plaatsvinden.
Om de geschiedenis van de aarde te kunnen ontrafelen en reconstrueren moeten de geologen het beeld van alle gebeurtenissen zo volledig mogelijk in kaart brengen. Daarvoor is het noodzakelijk om de *record* van de ene locatie met die van de andere locatie te vergelijken en eventueel de zijwaartse continuïteit of equivalenten van het gesteente in diverse plaatsen en regio's te kunnen aanwijzen. Dit proces

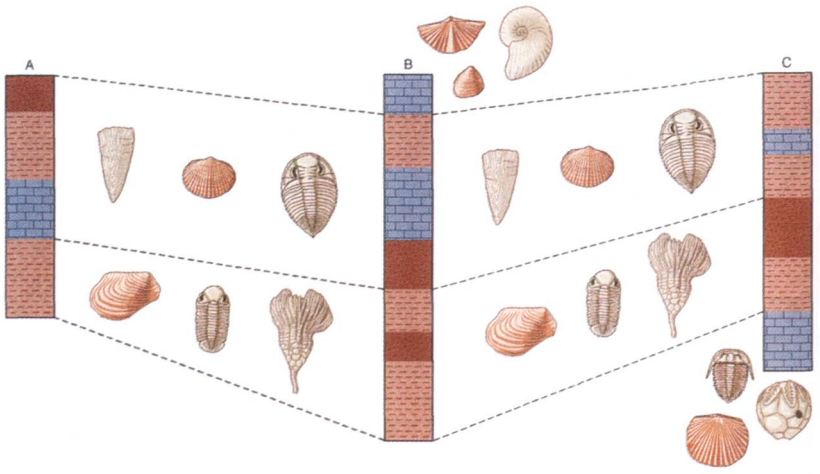


Afb. 3. Lithostratigrafische correlatie in gebieden waar geologische opeenvolgingen veel overeenkomsten vertonen. Lithostratigrafische eenheden kunnen worden getraceerd in laterale richting, ook als het deel van de geologische record ontbreekt door b.v. erosie. (volgens Monroe & Wicander, 2002 - veranderd)

van aanwijzen van equivalenten of continuïteit van gesteenten of fossielen heet *stratigrafische correlatie*. Correlatie moet leiden tot het aanwijzen en vaststellen van ouderdomsequivalenten van gesteentepakketten in diverse locaties. Dit kan gebaseerd worden op diverse eigenschappen van het gesteente, zoals lithologische kenmerken, paleontologische inhoud, radiometrische eigenschappen, vastgelegde klimaatveranderingen.
Lithostratigrafische correlatie wordt gebaseerd op de direct waarneembare lithologische eigenschappen van het gesteente (Fig. 2a). Gesteentemassa's in een ontsluiting (of in een boorkern) worden met elkaar vergeleken en dezelfde typen worden aangewezen als lithologische equivalenten. Ook de zgn. indicatielagen (gidslagen) maken het correleren mogelijk. Deze lagen zijn eenheden die zeer karakteristieke kenmerken hebben (b.v. laagjes vulkanische as of kool-lagen) en geïdentificeerd kunnen worden in tamelijk grote gebieden en in afzonderlijke geologische sequenties (Fig. 2b). Als de geologische ontsluitingen gelijkenissen vertonen in de gesteente-eigenschappen en in de volgorde in de geologische opeenvolging, dan kan het gesteente getraceerd worden volgens zijn laterale verbreiding, ook in het geval van plaatselijk ontbreken van geologische *record* door b.v. erosie (Figuur 3).
Om de tijdequivalenten in de opeenvolging met verschillende samenstelling te vinden en de gesteente-eenheden in zeer grote gebieden op regionale, continentale en globale schaal met elkaar te kunnen correleren, moeten geologen fossielen gebruiken. Fossielen zijn overblijfselen van organismen die leefden in het geologische verleden en zijn dus bruikbaar als tijdindicatoren. Voornamelijk de zgn. gidsfossielen kunnen gebruikt worden voor de stratigrafische correlatie. Gidsfossielen zijn fossielen die direct herkenbaar zijn, brede geografische verbreiding hebben en in een relatief korte tijdperiode leefden. Als gesteenten van verschillende locaties dezelfde gidsfossieleninhoud bevatten dan mogen



Afb. 2. Lithostratigrafische correlatie
a – correlatie van gesteentepakketten (gesteente-eenheden) op basis van gelijkenis van gesteentesoorten en hun positie in de geologische opeenvolging;
b – correlatie van gesteentepakketten (gesteente-eenheden) op basis van gelijkenis van gesteentesoorten en aanwezigheid van de indicatielaag (i).
(volgens Monroe & Wicander, 2002 - veranderd)

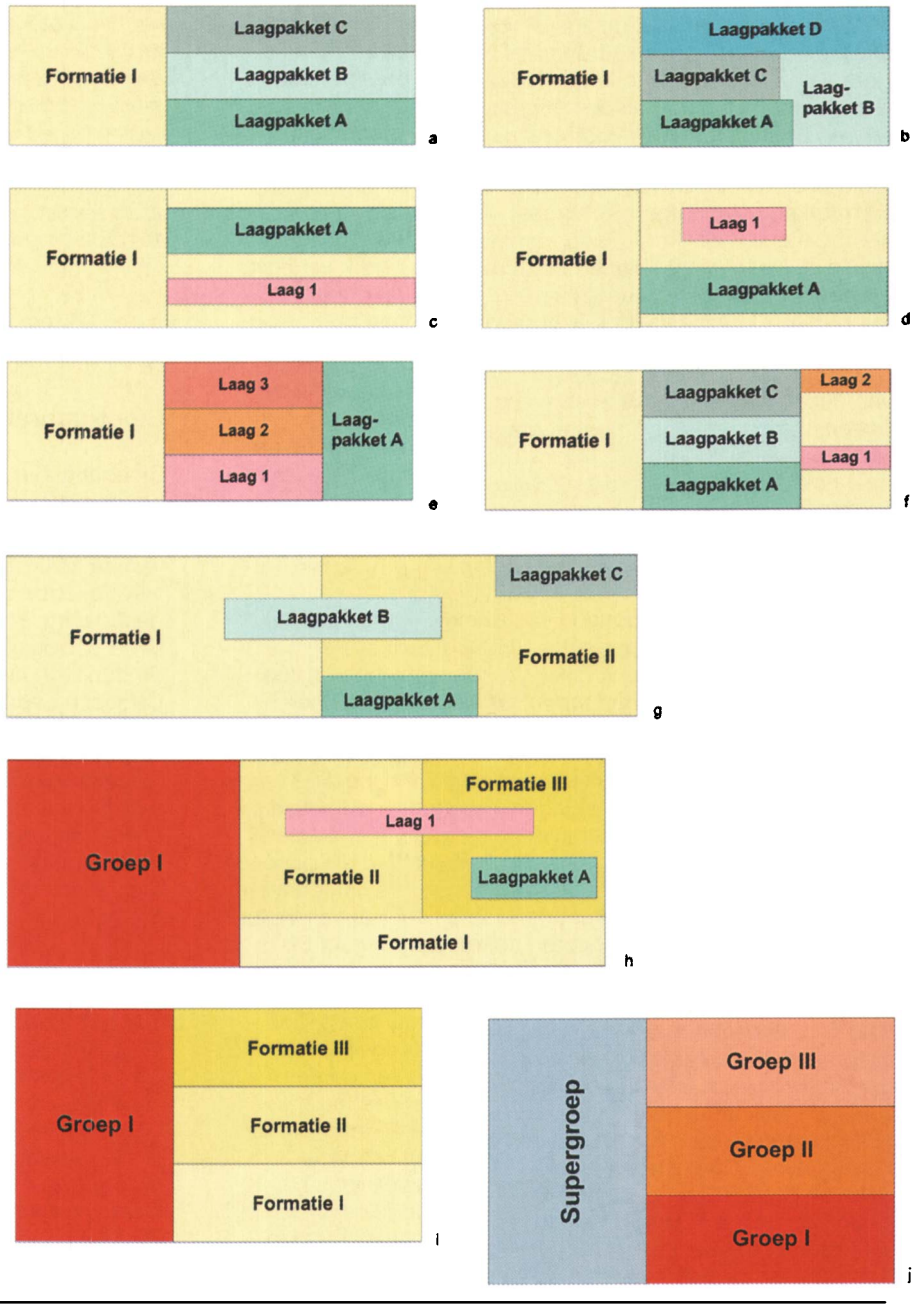


Afb. 4. Principes van biostratigrafische correlatie. Dankzij overeenkomsten in opeenvolging van fossielenassemblages in afzonderlijke geologische opeenvolgingen (A, B, C) kunnen de tijdsequivalenten in die opeenvolgingen worden getraceerd. Gesteenten in deze drie secties (verbonden met stippellijnen) bevatten dezelfde fossielenassemblages en hebben dus dezelfde ouderdom. De oudste gesteenten bevinden zich onderin in de opeenvolging C en de jongste bovenaan in de opeenvolging B. (volgens Monroe & Wicander, 2002 - veranderd)

we aannemen dat die gesteenten in dezelfde tijdperiode zijn ontstaan. (Figuur 4). Met andere woorden, dankzij gidsfossielen is het mogelijk om de tijdequivalenten in verschillende geologische opeenvolgingen vast te stellen.
In de praktijk leidt correlatie slechts bij benadering tot het aanwijzen van de tijdequivalenten in het gesteente. Soms kan de afwijking in precisie groot zijn.
Dat komt door het feit dat het dikwijls heel moeilijk is of zelfs onmogelijk om objectief de horizonten (vlakken) met dezelfde ouderdom in de gesteenten te volgen.

Lithostratigrafie

Lithostratigrafie is een discipline binnen de stratigrafie die het beschrijven, de naamgeving, de classificatie en onderverdeling van de gesteenten op basis van hun lithologie en stratigrafische relaties omvat. Lithostratigrafische classificatie is een principiële vorm van de stratigrafische classificatie en kan toegepast worden op alle soorten gesteenten. Doel van de lithostratigrafie is het indelen van gesteenten van de aardkorst in eenheden op basis van hun lithologische kenmerken.



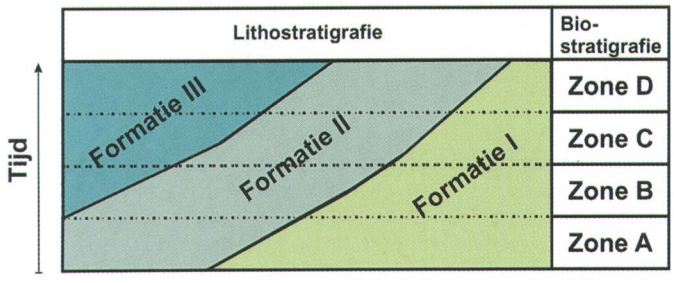
Afb. 5. Enkele voorbeelden van lithostratigrafische onderverdeling van de geologische record. In elk diagram is een afzonderlijke geologische situatie afgebeeld van verticale en horizontale verbreiding van gesteente(pakketten). De diagrammen beelden diverse mogelijkheden van onderverdeling af. De hoeveelheid lithostratigrafische eenheden is evenredig gerelateerd aan de lithologische diversiteit van de gesteenten.

- *a formatie is volledig onderverdeeld in drie laagpakketten (A, B, C);*
- *b formatie is volledig onderverdeeld in vier laagpakketten (A, B, C, D); Laagpakket D bevindt zich naast (lateraal) laagpakketten A en B;*
- *c formatie is deels onderverdeeld in Laagpakket A en Laag 1;*
- *d formatie is deels onderverdeeld in Laagpakket A en Laag 1. Laag 1 bevindt zich in het bovenste gedeelte van de formatie en heeft kleinere laterale spreiding t.o.v. de situatie in c;*
- *e formatie is volledig onderverdeeld in een Laagpakket A en drie lagen (1, 2, 3);*
- *f formatie is niet volledig onderverdeeld;*
- *g twee formaties naast elkaar. Formatie I is niet onderverdeeld en Formatie II is niet volledig onderverdeeld en bevat drie laagpakketten (A, B, C);*
- *h drie formaties (I, II, III) vormen een groep. Binnen Formatie III bevindt zich Laag 1 en Laagpakket A;*
- *i drie formaties vormen een groep maar zijn verder niet onderverdeeld;*
- *j supergroep wordt gevormd door drie groepen.*

Lithostratigrafische onderverdeling weerspiegelt bepaalde fasen van de geologische ontwikkeling van de aardkorst in het desbetreffende gebied en dient als basis voor fundamenteel en toegepast geologisch onderzoek. Het bestuderen en beschrijven van lithologie en stratigrafie in een bepaald gebied moet voorafgaan worden door lithostratigrafische classificatie. Ook de studie aan structurele aspecten (structurele geologie) op lokale en regionale schaal maakt gebruik van de lithostratigrafie. Het reconstrueren van de geologische geschiedenis van de afzonderlijke regio's kan niet zonder lithostratigrafie. Het toegepaste geologische onderzoek, zoals opsporing en documentatie van delfstoffen, onderzoek naar ondergrondse waterreservoirs en diverse aspecten met betrekking tot de bescherming van de lithosfeer, maakt gebruik van de lithostratigrafische indelingen.

Een lithostratigrafische eenheid bepalen is een steenmassa onderscheiden op basis van diagnostische lithologische kenmerken en soms ook op basis van geometrische (ruimtelijke) relaties ten opzichte van de aangrenzende eenheden. De diagnostische lithologische kenmerken omvatten de zeer karakteristieke eigenschappen van het gesteente die eenvoudig te herkennen zijn en die een dubbelzinnige interpretatie uitsluiten. Deze kenmerken moeten aanwezig zijn binnen een gehele eenheid, zowel in verticale als in laterale verbreiding. Als voorbeeld wil ik hier de zgn. Formatie van Breda geven. Deze formatie is een lithostratigrafische eenheid die zeer grote laterale verbreiding in de Nederlandse bodem heeft. Deze formatie bestaat uit een complexe opeenvolging van ondiep mariene en in de kustzone gevormde afzettingen. De sedimenten in deze formatie bestaan hoofdzakelijk uit zanden en kleien. De aanwezigheid van glauconiet is zeer kenmerkend voor deze afzettingen, waardoor de kleur van de sedimenten donker tot zeer donker grijsgroen tot zwartgroen is. De lithologie binnen de formatie kan sterk variëren. De zanden zijn soms zeer fijnkorrelig, soms wat grover. Er kunnen ook lagen schelpgruis voorkomen. Maar het belangrijkste kenmerk van deze afzettingen, de grote hoeveelheid glauconiet, komt overal binnen de formatie voor. Op basis van deze lithologische kenmerken is de Formatie van Breda onderscheiden als een lithostratigrafische eenheid.
Het is vanzelfsprekend dat tijdens het definiëren van de eenheid ook de grenzen van die eenheid worden aangewezen en gedefinieerd. De grenzen van de eenheid zijn plekken in het gesteente waar voor de eenheid diagnostische lithologische kenmerken verdwijnen.

Er bestaan enkele categorieën van formele lithostratigrafische eenheden en ze vormen een hiërarchisch systeem. Formatie is een basiseenheid. Enkele formaties kunnen samengevat worden in een groep formaties en enkele groepen formaties kunnen worden samengevat in een supergroep. Anderzijds kan de formatie verdeeld worden in eenheden met lagere rangen, dus laagpakketten en lagen. De indeling van de formatie in eenheden met lagere rang hoeft niet volledig te zijn. Het basisprincipe dat in de lithostratigrafische classificatie geldt is dat de formatie als basiseenheid altijd moet worden gedefinieerd. Het definiëren van andere categorieën is niet vereist. Of ze worden gedefinieerd hangt af van veranderingen van de lithologie binnen de formatie (Figuur 5).
De namen van de lithostratigrafische eenheden bestaan uit enkele elementen. Een van die elementen verwijst naar de rang van de eenheid, b.v. formatie, laagpakket, groep. Een ander element is een geografische naam die verwijst naar de geografische locatie waarin het stratotype van de eenheid zich bevindt (b.v. Formatie van Breda verwijst naar de eenheid met de rang formatie en tevens naar de stad Breda waar in de omgeving een boring werd gedaan op basis waarvan de eenheid oorspronkelijk werd beschreven). De naam Formatie van Breda kan ook kort aangeduid worden als Breda Formatie. Er kan nog een lithologisch element in de naam van de eenheid voorkomen maar dit is niet noodzakelijk. Met dit lithologische element zou de Formatie van Breda de Formatie zanden van Breda moeten heten, maar men tracht de naamgeving kort en strak te houden en daardoor hebben de meeste lithostratigrafische eenheden tweevoudige namen die naar rang en plaats verwijzen.
De grenzen van de eenheden hebben in principe niets te maken met de tijdgrenzen. De milieus waarin afzettingen ontstaan variëren van plaats tot plaats en veranderen tevens in de tijd, waardoor hetzelfde type gesteente in de ene locatie in een bepaalde tijdsinterval ontstaat maar in een andere locatie



Afb. 6. Biostratigrafische zones versus lithostratigrafische eenheden (formaties).
Grenzen van litho- en biostratigrafische eenheden komen meestal niet overeen. De biostratigrafische grenzen zijn tevens de tijdgrenzen omdat de soorten organismen leefden in bepaalde, beperkte tijdsintervallen. Daarentegen zijn de grenzen van lithostratigrafische eenheden meestal tijdoverschrijdend (diachroon) omdat de condities van sedimentatie binnen een sedimentair bekken voortdurend veranderen (en migreren). Daardoor kan het type gesteente dat op de ene plek ontstaat in een bepaald tijdsinterval, op andere locaties in een kortere (of langere) tijdsinterval ontstaan. Conform de regels van de lithostratigrafische classificatie wordt dat gesteente in het hele verbreidingsgebied als dezelfde basiseenheid geclassificeerd.

in een kortere (of langere) periode is afgezet (Figuur 6).
Tabel 1 geeft een overzicht van het hiërarchische systeem van formele lithostratigrafische eenheden.

Biostratigrafie

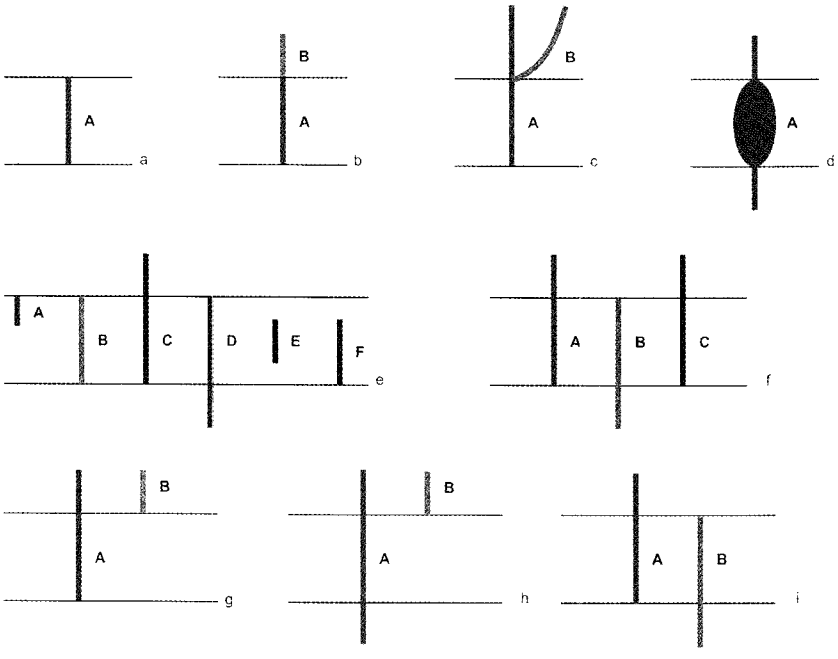
Biostratigrafie is een tak van de stratigrafie die zich bezighoudt met het onderverdelen van de gesteentemassa op basis van de fossieleninhoud en om preciezer te zijn op basis van de analyses van de duur (het stratigrafisch voorkomen) van de fossiele soorten. Aan de basis van een dergelijke benadering ligt het feit dat het voorkomen van soorten zich in de geologische geschiedenis van de aarde niet herhaalt en de duur van hun bestaan verbonden is aan min of meer stratigrafisch beperkte gesteente-intervallen.
Er zijn vier situaties in de sedimentaire *record* mogelijk als het om fossielen gaat: lagen zonder fossielen, lagen met organismen die leefden en werden begraven op dezelfde plek *(biocenose),* lagen met organismen die elders leefden en na hun dood naar een andere plek werden getransporteerd en daarin begraven *(thanatocenose)* en lagen met organismen die levend naar een andere plek werden getransporteerd en daar in sediment begraven. Alle intervallen van fossielhoudend gesteente kunnen biostratigrafisch onderverdeeld worden.

In principe heeft iedere fossiele soort betekenis voor de biostratigrafie, maar het meest bruikbaar hiervoor zijn de gidsfossielen. Gidsfossielen zijn die soorten die in zeer korte tijdsintervallen leefden, in grote hoeveelheden in de afzettingen aanwezig zijn en tevens een brede geografische spreiding hebben, dus onafhankelijk waren van de lokale paleo-milieus. Tot de gidsfossielen horen meestal nektonische en planktonische organismen. Deze groepen zijn niet afhankelijk van de lokale omstandigheden op de bodem van het sedimentaire bekken. Daarentegen leven de bentische

organismen wèl op de bodem; ze zijn dus afhankelijk van de condities daarin en worden door die condities beïnvloed. Het gevolg is dat deze organismen een beperkte geografische verbreiding hebben. De micro-organismen verdienen als gidsfossielen ten opzichte van andere organismen de voorkeur, omdat er een potentieel grotere frequentie van microfossielen in de gesteentemassa is. In dezelfde hoeveelheid gesteente komen veel meer microfossielen voor dan macrofossielen. Dit is zeker van belang bij het analyseren van boorkernen, waar de te onderzoeken hoeveelheid gesteente van een bepaald diepteniveau zeer beperkt blijft.

De formele biostratigrafische eenheden – de biozones of biostratigrafische zones – zijn gesteentepakketten die gedefinieerd of gekarakteriseerd worden op basis van hun fossieleninhoud. In principe worden de grenzen van de biozones gebaseerd op verschijning of verdwijning van de fossiele soorten in de geologische *record* (fylogenetische factor) maar dikwijls ook op basis van andere criteria. De biozones kunnen gebaseerd zijn op een enkel taxon, op een combinatie van taxa, op de relatieve hoeveelheid fossielen van een taxon, op specifieke morfologische kenmerken van een groep organismen, etc. (Figuur 7). Afhankelijk van de diagnostische criteria of de gekozen groep fossielen voor het definiëren van biozones, kan hetzelfde gesteente-interval verdeeld worden in diverse biostratigrafische zones. Deze zones kunnen aan elkaar grenzen, maar ze kunnen ook elkaar overlappen en er kunnen delen van het gesteente tussen deze biozones zitten die biostratigrafisch niet ingedeeld zijn. Afhankelijk van de gekozen criteria worden diverse biozones onderscheiden. De meest voorkomende typen zones zijn: taxon range-zone, assemblage-zone, frequentie-zone en fyletische zone.
In principe bestaat binnen de biostratigrafische indeling maar één soort eenheden – de zones – en alle zones hebben dezelfde rang binnen de classificatie. Soms worden binnen de zones subzones onderscheiden die een lagere rang dan zones hebben. In wat oudere biostratigrafische classificaties werd de *zonule* als een biostratigrafische eenheid gebruikt. De zonules omvatten delen van twee aan elkaar grenzende zones of subzones. In recente biostratigrafische werken worden de zonules niet meer gebruikt.

De grenzen van de biostratigrafische zones en die van de lithostratigrafische eenheden (formaties) zijn onafhankelijk van elkaar en komen niet met elkaar overeen. De meest karakteristieke eigenschap van lithostratigrafische eenheden is hun innerlijke homogeniteit, d.w.z. binnen de grenzen van de eenheid hoort één of hooguit enkele lithologische types gesteente. Daarentegen worden de biozones gedefinieerd op basis van fossielen die verspreid zijn binnen het gesteente en diverse combinaties van meerdere paleontologische taxa vertegenwoordigen. Elk gesteentepakket mag geclassificeerd worden als één lithostratigrafische eenheid (met een bepaalde rang) terwijl het mogelijk is (en zelfs aanbevolen) dat dit gesteente bij meerdere biozones hoort. De biozones verwijzen naar de geologische tijd, omdat de duur van de soorten stratigrafisch beperkt is en de soorten waarop de biostratigrafische indeling gebaseerd is, overal dezelfde duur hebben. Daarentegen zijn de lithostratigrafische eenheden tijdgrenzenoverschrijdend, d.w.z. een bepaald soort gesteente op één plek ontstaat gedurende een bepaalde tijd, maar op een andere plek kan dat gesteente (binnen dezelfde eenheid) gedurende langere of kortere tijd worden afgezet. Lithostratigrafische eenheden zijn dus *diachroon* en biostratigrafische eenheden *isochroon*.



Afb. 7. Enkele voorbeelden van biostratigrafische onderverdeling in zones op basis van één of meerdere soorten organismen (taxonen), aanwezig in de geologische record. De boven- en ondergrenzen van de zones zijn gemarkeerd met zwarte, horizontale lijnen. De verticale, gekleurde lijnen beelden het voorkomen van taxonen in de geologische tijd af.

- *a "taxon range"-zone; de ondergrens is vastgesteld op het punt waarin taxon A voor het eerst verschijnt en de bovengrens op het punt waarin taxon A voor het laatst voorkomt;*
- *b, c ylogenetische zones; zones zijn gebaseerd op evolutionaire veranderingen – de bovengrens van de zone is vastgesteld op het tijdpunt waarin een nieuwe soort ontstaat (taxon B ontstaat uit taxon A tijdens het specialisatieproces);*
- *d "acme"-zone; zone omvat interval waarin taxon A massaal aanwezig is t.o.v. onder- en bovenliggende delen van het gesteente;*
- *e assemblage-zones; zone is gebaseerd op de aanwezigheid van meerdere taxonen (A, B, C, D, E, F);*
- *f zone waarin de ondergrens is bepaald door de verschijning van taxonen A en C en de bovengrens door het laatste voorkomen van taxon B;*
- *g zone waarin de ondergrens is bepaald door de eerste verschijning van taxon A en de bovengrens door de eerste verschijning van taxon B;*
- *h zone waarin de bovengrens gebaseerd is op de eerste verschijning van taxon B;*
- *i zone waarin de ondergrens gebaseerd is op de eerste verschijning van taxon A en de bovengrens op het laatste voorkomen van taxon B.*

Chronostratigrafie en Geochronologie: (Tabel 2)

Chronostratigrafie is een deel van de stratigrafie dat zich bezig houdt met ouderdom en relatieve ouderdomsverhoudingen van de gesteenten. Chronostratigrafie benadert de gesteenten uit het oogpunt van hun ouderdom. De chronostratigrafische classificatie ordent de gesteenten in eenheden (chronostratigrafische eenheden) die equivalenten zijn van de geologische tijdsintervallen (geochronologische eenheden). Het doel van deze classificatie is het systematisch organiseren van het gesteente van de aardkorst in eenheden die corresponderen met de intervallen van de geologische tijd. In die zin fungeren ze als basis voor de tijdcorrelaties en als referentiesysteem bij het reconstrueren van de gebeurtenissen die in het geologisch verleden plaatsvonden. Dit doel wordt gerealiseerd op lokale schaal, maar ook op globale schaal bij het construeren van de *Globale Chronostratigrafische Tijdschaal*.

Chronostratigrafische eenheden	Equivalente geochronologische eenheden	"Maastrichtian" als voorbeeld
Eonothem	Eon	Phanerozoïcum
Erathem	Era	Cenozoïcum
System	Period	Krijt
Series	Epoch	Boven Krijt / Laat Krijt
Stage	Age	Maastrichtian
Substage	Subage	Boven Maastrichtian / Laat Maastrichtian
(Chronozone)	(Chron)	

Tabel 2. Chronostratigrafische eenheden (linker kolom) *versus* geochronologische eenheden (middelste kolom).
Hoogste rang is boven en laagste rang onder. Chronozone (en Chron) zijn formele chronostratigrafische (en geochronologische) eenheden maar vallen buiten dit hiërarchische schema. In de rechter kolom is "Maastrichtian" als voorbeeld in dit hiërarchische schema gegeven.
De namen van de eenheden zijn in het Engels omdat in de praktijk alleen Engelse termen worden gebruikt.

Deze chronostratigrafische schaal wordt gevormd door de complete opeenvolging van chronostratigrafische eenheden, die duidelijk gedefinieerd zijn, eigen namen hebben en hiërarchisch geordend zijn. Op deze manier is een standaard stratigrafisch kader voor het bepalen van de ouderdom van gesteentepakketten gevormd, dat direct te relateren is aan de geschiedenis van de aarde.

Een chronostratigrafische eenheid is het gesteente dat in de bepaalde periode van de geologische tijd is ontstaan, ongeacht lithologisch-petrologische samenstelling, fossiele inhoud of dikte. De chronostratigrafische eenheden zijn begrensd door isochrone horizonten (isochroon = gelijktijdig, synchroon). Deze horizonten hebben wereldwijd dezelfde ouderdom. De chronostratigrafische eenheden vormen een hiërarchisch systeem binnen de classificatie en de rang van de eenheid heeft betrekking tot de lengte van de geologische tijd waarin het gesteente is ontstaan en niet tot de dikte van dat gesteente.

Het begrip **Geochronologie** heeft betrekking op de tijd. Deze classificatie omvat tijdsintervallen waarin de gesteenten zijn ontstaan. Het is vanzelfsprekend dat de geochronologische classificatie ook de hiërarchische opbouw heeft.
De basiseenheid in de chronostratigrafische classificatie is de *Stage*. Een "Stage" omvat alle gesteentepakketten die in de tijdsperiode van de *Age* zijn ontstaan. Meerdere Stages vormen de *Series* die ontstaan is in het tijdsinterval *Epoch* genoemd. Meerdere Series vormen een *System* dat in de tijdsinterval *Period* genoemd, is ontstaan.
De grenzen van de chronostratigrafische eenheden hebben eigen stratotypen. Dat zijn de opeenvolgingen van in principe ononderbroken depositie (voornamelijk mariene sedimenten) die zijn gekozen als standaard voor de globale correlatie. In die zin is de "Stage" een zeer belangrijke eenheid. De boven- en ondergrens van de "Stage" definiëren niet alleen de "Stage" zelf (gesteentepakketten die zich tussen die grenzen bevinden) maar tevens kunnen ze fungeren als grenzen van eenheden met hogere rang zoals "Series" en "System".
Het systeem van chronostratigrafische onderverdeling vormt de basis van de globale chronostratigrafische tijdschaal. Het werk aan deze schaal wordt uitgevoerd door Internationale Commissie voor de Stratigrafie conform bepaalde procedures en standaarden. Zoals al is vermeld, worden de chronostratigrafische eenheden gedefinieerd door de grenzen van die eenheden (gesteenten die zich binnen die grenzen bevinden). In de praktijk worden, om overlapping van eenheden te vermijden, in eerste instantie de ondergrenzen in bepaalde sequenties als standaarden aangewezen (de ondergrens van de bovenliggende eenheid is tevens de bovengrens van de onderliggende eenheid).
De ouderdom van die grenzen is door middel van absolute datering bekend; deze grenzen zijn gemarkeerd met de zogenaamde *golden spikes* (gouden spijkers). Deze gemarkeerde grenzen fungeren als referentiepunten op globaal niveau.

Literatuur

De Vries, W.C.P., 2005: Stratigrafie. Gea, september 2005 (3), p. 70-74.

Doyle, P. & Bennett, M.R. (editors), 1999: Unlocking the stratigraphical record. Advances in modern stratigraphy. Wiley & Sons.

Monroe, J.S., & Wicander, R., 2002. The changing Earth. Exploring geology and evolution. Brooks/Cole.

Murphy, M.A. & Salvador, A., (editors), 1999: International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS, International Commission on Stratigraphy. International Stratigraphic Guide; an abridged version. Episodes, 22 (4), p. 255-271. www.stratigraphy.org

Salvador, A. (editor), 1994: International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology and procedure. International Union of Geological Sciences & Geological Society of America.

Weerts, H.J.T., Cleveringa, P., Ebbing, J.H.J., de Lang, F.D., Westerhoff, W.F., 2000: De lithostratigrafische indeling van Nederland – Formaties uit het Tertiair en Kwartair. TNO-rapport, NITG 00–95–A.

TNO-NITG, Afdeling Geo-Infrastructuur, 2003: Lithostratigrafische Nomenclator Ondiepe Ondergrond Nederland, www.nitg.tno.nl