gea

driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Aktiviteiten voor belangstellenden in de geologie, mineralogie en paleontologie

september 2006, vol. 39, nr. 3, pag. 73 – 109

ISSN 0167-4692

Waar blijft de tijd?

Een moderne geologische tijdschaal nader bekeken

door Anne Rutger Fortuin
Instituut voor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam
(anne.fortuin@falw.vu.nl)

Geologische tijdschalen geven een overzicht van alle aardse tijdperken en tijden. Je komt ze tegen van uiterst schematisch tot zeer gedetailleerd. Dat laatste alleen in vakpublicaties. De grovere overzichten staan afgebeeld in de talrijke boeken en websites die zich met aspecten van de geologische tijd bezighouden. Iedere auteur kan naar believen zijn eigen compilatie maken, al zullen deze schrijvers zich doorgaans baseren op gezaghebbende schalen. Met het verschijnen van het boek "A Geologic Timescale 2004" (kortweg GTS2004 te noemen) van de *International Commission on Stratigraphy*, geschreven door een team van meer dan 40 stratigrafische experts, is een nieuwe mijlpaal bereikt op het gebied van moderne, toonaangevende tijdschalen.
Tijd om eens stil te staan bij de achtergronden die tot deze schaal geleid hebben of bij de vraag waarom de aangegeven tijden in miljoenen jaren tussen de ene indeling en de andere soms behoorlijk uiteenlopen. De bedoeling van deze bijdrage is dus om wat meer inzicht te verschaffen over de totstandkoming van eigentijdse tijdschalen.

Toekomstmuziek

Terugdenkend aan mijn studietijd in de zestiger jaren waren er natuurlijk ook tijdschalen. De meeste van deze overzichten gaven echter alleen maar de opeenvolging van de geologische periodes en de kleinere eenheden daarbinnen (de Etages), zonder een aangegeven tijdsduur. Over de duur van de periodes was inmiddels wel het nodige bekend sinds de Engelse pionier op het gebied van radiometrische dateringen Arthur Holmes in 1947 een dergelijke schaal publiceerde. Dit op basis van een nog maar zeer beperkt (5) aantal radiometrisch bepaalde ouderdommen, in combinatie met schattingen van de relatieve tijdsduur van de periodes. Dat laatste op de twijfelachtige basis van gegevens over hun maximale diktes. Een bruikbare koppeling van geologische periodes aan een lineaire tijdschaal was toen nog toekomstmuziek. Laat ik er meteen bij vertellen dat GTS2004 evenmin volmaakt is, iets wat de auteurs zelf ook duidelijk stellen. Daarom staat er voor het jaar 2008 alweer een nieuwe versie op stapel. Maar de aanzienlijke verbeteringen in dateringstechnieken en het grote aantal beschikbare gegevens maken dit tot een volwassen tijdschaal. De verschillen tussen schalen onderling worden dan ook steeds kleiner.
De kernvraag bij het maken van moderne tijdschalen is hoe we met gebruikmaking van alle beschikbare dateringstechnieken, relatief of absoluut, de geologische tijd zo goed mogelijk lineair kunnen indelen en de internationaal afgesproken tijdvakken kunnen begrenzen met in (miljoenen) jaren aangegeven ouderdommen.
Tijd is een fascinerend iets. Het is een abstract begrip van een lineaire dimensie die van verleden naar toekomst loopt en voor ons mensen maar moeilijk te peilen is. Tijd glipt bij wijze van spreken tussen onze vingers door en we ervaren het vaak subjectief: snel verlopend als we aktief bezig zijn en uiterst traag als we in stilte moeten wachten. We kunnen ons alleen maar in het hier en nu bevinden. De toekomst is onbereikbaar ver. Het verleden ook, maar daar hebben we hetzij een persoonlijke herinnering aan, of we kunnen er bewaard gebleven documenten over raadplegen. Wat voor de historicus archieven zijn, is voor de aardwetenschapper het gesteentenregister. De geologische tijdschaal is dus op concrete gesteenteopeenvolgingen gebaseerd en alle gebeurtenissen uit dat verleden laten zich daarbinnen in chronologische volgorde inpassen.

Cesium-seconde

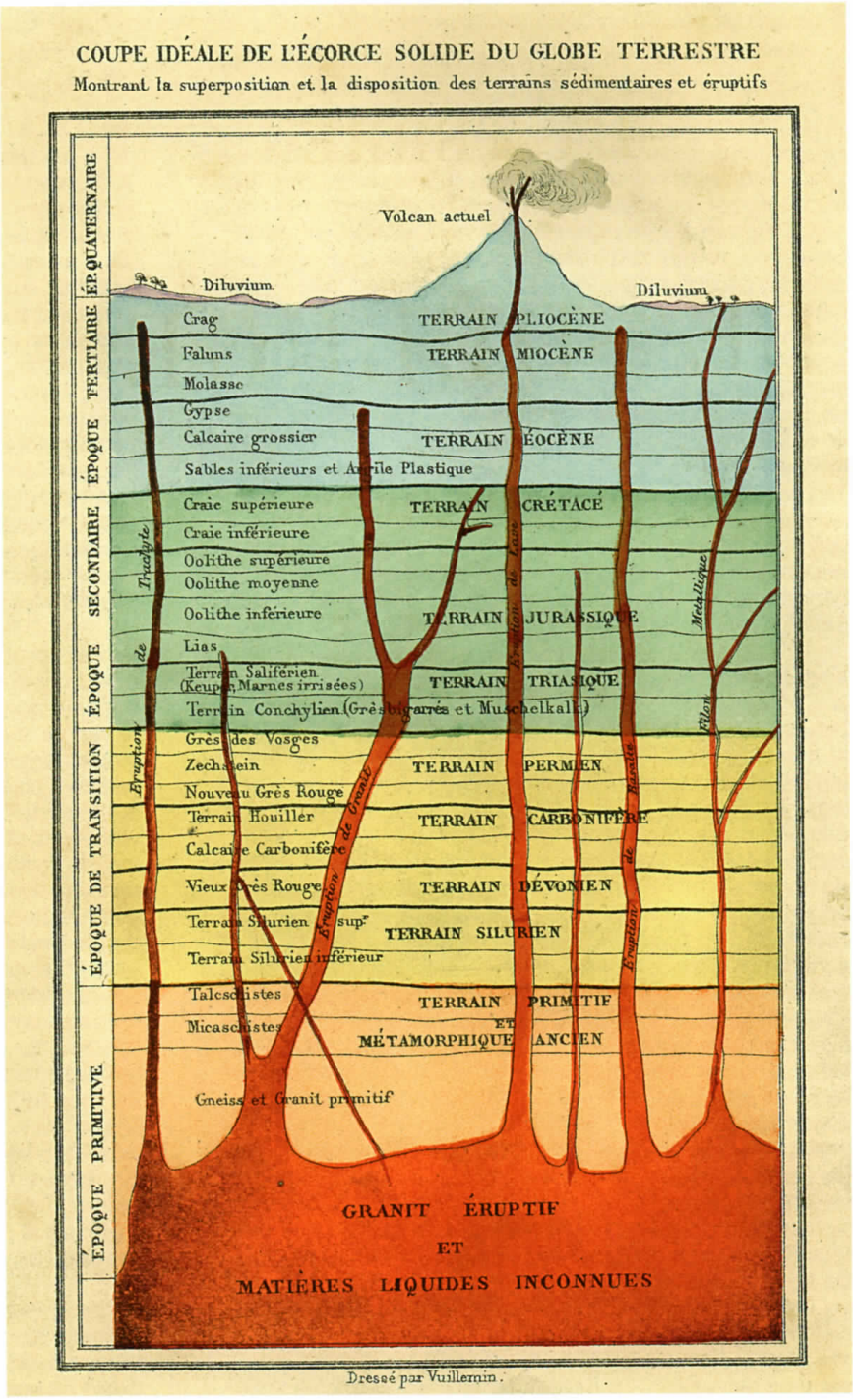
Van oudsher wordt het begrip tijd vastgelegd door naar de omloop van de zon te kijken. Dag, jaar en uur: ze werden bepaald door de positie van onze plek op aarde ten opzichte van de zon. De gebruikelijke tijdstandaard voor grotere tijdsverlopen is dan ook het jaar. Maar in het huidige SI-systeem (kilo, meter en seconde) voor fysische eenheden is de fundamentele tijdseenheid de seconde. Een seconde wordt gedefinieerd als de duur van 9.192.631.770 perioden van de straling die correspondeert met de overgang tussen de twee hyperfijne energieniveaus van de grondtoestand van het atoom Cesium (Ce-133). Dit vanwege de bouw van de atoomklok. Omdat de seconde zo niet langer meer gedefinieerd is als een vast gedeelte van de dag, is het noodzakelijk geworden om af en toe een schrikkelseconde in te voegen. Gelukkig staat het SI-systeem ook het gebruik van het jaar toe, nader aangeduid met de letter **a** (van het latijnse *annus*). In dit stelsel wordt vervolgens toegevoegd **ka** voor 1000 jaar (k = *kilo*; 1ka = 1 millennium), en **Ma** (M = *Mega*) voor miljoen jaar en **Ga** voor (G = *Giga*) een miljard jaar. Kwartairgeologen geven ouderdommen vaak aan in **ka BP** (Before Present) en niet BC (Before Christ) zoals de historici dat doen. Daar tijd wordt beschouwd als een lineaire dimensie is de formele schrijfwijze voor ouderdom in jaren volgens het SI systeem bijv: 120 ka.

De bedoeling van elke tijdschaal is om een correct referentiekader aan te geven waarbinnen gebeurtenissen geplaatst kunnen worden. Pas als dat gebeurd is kunnen we ons een beeld maken van de veranderingen die optreden in de tijd.

De bezigheid om gebeurtenissen in een vast chronologisch kader te plaatsen is dus een belangrijke opdracht aan zowel historici, archeologen als geologen.
In oude tijden, toen er nog geen jaartelling was, speelde de mondelinge overlevering van vroegere gebeurtenissen een bepalende rol. Momenten van groot algemeen belang fungeerden daarbij als ijkpunt, als tijdsaanduiding. Grote oorlogen en natuurrampen waren daarvoor zeer geschikt. Dergelijke gebeurtenissen hadden door hun slachtoffers en/of de politieke veranderingen die ze teweeg brachten een onuitwisbare indruk achtergelaten op de mensen die het meemaakten. Iedereen wist er daarom via de mondelinge overlevering van. Hierbij een sprekend voorbeeld uit de Bijbel. De tweede zin uit het bijbelboek Amos (de profeet Amos leefde ongeveer 750 v. Chr.) luidt "Hij (Amos) profeteerde over Israël toen Uzzia in Juda regeerde en Jerobeam, de zoon van Joas, koning was in Israël, twee jaar voor *de aardbeving*". Deze beving is door archeologen gedateerd op 760 v. Chr., omdat laag 6 uit de opgegraven stad Hazor stamt uit de tijd dat Amos profeteerde.
Juist die laag bevat resten van gebouwen die onmiskenbaar door een zware aardbeving zijn vernield. Het was zo'n zware beving dat er een paar eeuwen later nog naar verwezen zou worden. Dat deed de profeet Zacharia (deze teksten zijn tot stand gekomen tussen 500 en 200 v. Chr.), zie Zacharia 14:9 "Jullie zullen wegvluchten..., zoals jullie ook gevlucht zijn bij de aardbeving in de tijd dat koning Uzzia regeerde over Juda".
In de geologie is het in feite niet veel anders. De grenzen tussen verschillende tijdperken vallen doorgaans samen met opvallende, vaak relatief snel optredende veranderingen in met name de biota.
Dat laatste geldt overigens alleen voor de tijden vanaf het Cambrium, toen meercellige en skeletvormende organismen de aarde bevolkten. De tijden daarvoor, feitelijk het langste deel van de aardgeschiedenis, zijn ingedeeld louter op grond van radiometrisch bepaalde ouderdommen.

Standaarden voor tijdsintervallen - toen en nu

Geologische tijdschalen maken en verbeteren is vooral een bezigheid voor stratigrafen. Het heeft immers alles te maken met het nauwkeurig correleren van gesteentelagen en complete laagpakketten. Over het onderwerp stratigrafie is al het een en ander in Gea geschreven (De Vries, september 2005; Slupik, december 2005), zodat de paar vaktermen die hier zullen vallen meestal geen nadere uitleg behoeven; de lezer wordt dan ook naar deze bijdragen verwezen.
Zoals in de beginregels al werd aangestipt, houdt het begrip 'moderne tijdschaal' in dat het de gebruiker meer houvast dan vroeger biedt, omdat er gebruik gemaakt wordt van een lineaire tijdschaal (uitgedrukt in jaren), die gekoppeld is aan de chronostratigrafische en geochronologische indelingen. Dit op voorwaarde dat de toegekende ouderdommen zo goed mogelijk zijn vastgesteld, gebruik makend van alle



Afb. 1. Dit overzicht van de geologische tijdperken komt uit een bijzonder populair wetenschappelijk boek dat in 1863 verscheen. De auteur Louis Figuier had veel meer boektitels op zijn naam staan, maar de verkoop van dit boek sloeg alles. Bij de 5e druk in 1866 waren er al 30.000 exemplaren verkocht. Met name de mooi getekende en de volgens de kennis van toen wetenschappelijk verantwoorde reconstructies van wereldbeelden per geologisch tijdperk zal de lezers van toen aangesproken hebben. Veel namen die we nu nog kennen komen voor, maar er zijn uiteraard ook grote verschillen aan te wijzen. Bijzonder is dat deze schaal getekend is als een stratigrafische kolom, met in de diepte de aanwezigheid van stollingsgesteenten, die aan het oppervlak een vulkaan opbouwen. Daar een geologische tijdschaal zich alleen bezighoudt met de tijdsindeling is er dus vermenging van de gesteente-opeenvolging (lithostratigrafie) en tijd (geochronologie) opgetreden. Dit fundamentele onderscheid is men pas later gaan maken.

beschikbare betrouwbare gegevens (en dat zijn er veel!). Werken met 'echte' getallen voor de ouderdom geeft geologen meer dan vroeger de mogelijkheid om steekhoudende berekeningen te maken over afzettingssnelheden, de snelheid van opheffing of daling van een bekken of een gebergte, etc. Ook bij het digitale modelleren van geologische processen en hun uitwerking is de factor tijd van groot belang.

William Smith

Geologie, als sterk opkomende, nieuwe natuurwetenschappelijke discipline, krijgt vorm in de tweede helft van de 18e eeuw, de tijd van De Verlichting ('Age of Enlightenment'). Met de groei van de geologie tot een zelfstandig wetenschapsgebied in de daaropvolgende eeuw, dringt ook meer en meer het besef door van de belangrijke rol van fossielen voor een stratigrafische indeling. Een gangmaker op dat terrein was de Engelsman, civiel ingenieur en fossielenverzamelaar, William Smith. Hij produceerde in 1799, op aanraden van een bevriende dominee, een stratigrafisch overzicht van de 'Coal' (het Carboon) tot aan de 'Chalk' (het Krijt), met aanduiding van de kenmerkende fossielen voor de verschillende stratigrafische intervallen. Zijn bevindingen waren nog louter empirisch, pas later ontwikkelde men ideeën over de optredende veranderingen in het leven op aarde.
Smith's neef Phillips introduceerde vervolgens in 1849 de nu nog steeds bekende termen Paleo-, Meso- en Kaenozoïcum voor het oude, middelste en nieuwe leven op aarde. Een overzicht van de historische ontwikkelingen in het stratigrafisch denken valt echter buiten het kader van deze bijdrage. Het gaat erom dat we ons realiseren dat, toen in de 19e eeuw eenmaal overduidelijk bleek dat elke geologische tijd gekoppeld was aan kenmerkende fossielen ('gidsfossielen'), men ertoe overging om deze tijdperken van een naam te voorzien en chronologisch te rangschikken. Over de werkelijke duur van de aldus onderscheiden eenheden had men nog weinig idee.
Het vinden en publiceren van nieuwe, nog niet benoemde tijdperken werd al gauw een modieuze bezigheid in wetenschappelijke kringen. Inmiddels gevestigde geologische diensten streefden naar een eigen indeling. Nationalistische trekjes speelden (en doen dat feitelijk nog steeds een beetje) zijdelings een rol bij de jacht op nieuwe gegevens en betere indelingen. Een wereldwijd erkende etage in jouw land vestigen, dat strekt immers tot eer en glorie. Het werd daarom al snel duidelijk dat, wilde men wildgroei voorkomen, het nodig was om op basis van overleg standaardeenheden aan te wijzen voor de verschillende onderdelen van de tijdschaal.
De eerste door een stratigrafisch comité genomen besluiten dateren al van 1878 (Parijs). Het aanwijzen van standaardeenheden is een volstrekt logische en belangrijke stap vooruit geweest. Op die wijze ontstonden de eerste tijdschalen, die toen alleen nog maar de relatieve ouderdom aangaven van de inmiddels gevestigde tijdvakken (afb. 1).

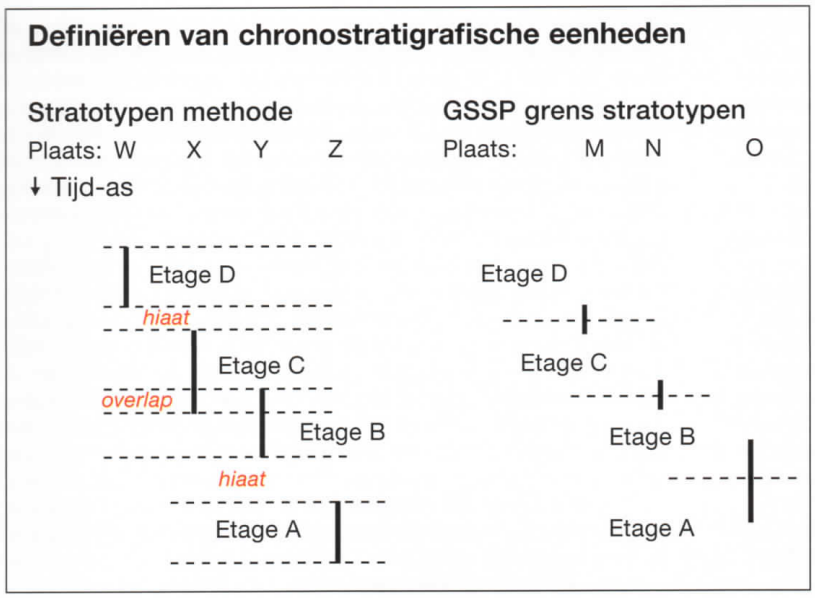
Standaard

Wat is een standaardeenheid eigenlijk? Neem de meter als lengtemaat. Om een goede standaardmeter te hebben is er eind 18e eeuw afgesproken om, op basis van ééntienmiljoenste van de afstand van de pool tot de equator (dus een kwart van een grootcirkel om de aarde, berekend op zeeniveau), een platinastaaf van die lengte te maken, zodat iedereen ter wereld de lengte ervan zou kunnen nameten en de plaatselijk geldende standaarden daaraan zou kunnen aanpassen. Voor de landmeters die deze eervolle taak moesten uitvoeren bleek dit een bijzonder zware klus. Voor de geologische tijd is er in de loop der jaren een geheel van standaard laagopeenvolgingen vastgesteld, de zogenaamde stratotypen, die samen geacht worden de totale geologische tijd te dekken. Ik schrijf 'geacht worden', want in de praktijk valt dit niet altijd mee. Een gesteentepakket is dan wel een maat voor een zeker tijdsverloop, maar de tijd zelf is onzichtbaar. Bij het Internationale Geologisch Congres van 1933 is afgesproken om tot normalisatie van alle stratigrafische terminologie te komen, om zo de onderlinge communicatie tussen geologen te verbeteren. Er werden speciale Stratigrafische Commissies met subcommissies ingesteld, die zich tot op de huidige dag bezighouden met de formulering van duidelijke en bindende richtlijnen voor de classificatie en benaming van stratigrafische eenheden. Deze richtlijnen zijn gepubliceerd in de 'International Stratigraphic Guide' onder auspiciën van de International Subcommission on Stratigraphic Classification van de International Union of Geological Sciences (IUGS) Commission on Stratigraphy. De IUGS is een erkende wetenschappelijke organisatie die ressorteert onder de UNESCO-vlag. Hun website is te bezoeken via www.iugs.org/home.htm. Voor de International Commission on Stratigraphy is er www.stratigraphy.org.

De indeling zoals we die nu kennen, laat zien dat elk geologisch Systeem (zie tabel 1) uit een groot aantal ***Etages*** is opgebouwd. De standaardeenheden daarbinnen, de stratotypen, liggen wereldwijd verspreid, al liggen de meeste klassieke secties om historische redenen in NW-Europa. Sluiten al die verspreid liggende standaarden onderling wel goed op elkaar aan? Zijn ze wel in de meest geschikte afzettingen ontwikkeld om met de gevonden fossielinhoud goede correlaties te vergemakkelijken? Inderdaad, met de toegenomen kennis van de paleontologie en de sedimentologie (bijvoorbeeld in het herkennen van hiaten in de opeenvolging) bleek er vaak iets te schorten aan de inmiddels erkende en bekende standaardsecties. Meerdere, van oudsher internationaal bekende, étages bleken om verschillende redenen zo slecht te correleren, dat ze inmiddels zijn gedegradeerd tot slechts lokale eenheden, ten gunste van nieuwkomers. Daarnaast hebben nieuwere inzichten meer dan eens aangetoond dat op zich geschikte en boven elkaar geplaatste klassieke stratotypen elkaar qua tijd lang niet altijd goed aanvullen. Er zijn zowel gedeeltelijke overlappingen als aanzienlijke hiaten tussen opeenvolgende stratotypen geconstateerd (afb. 2). Met als gevolg forse wetenschappelijke ruzies. Want waar moesten grenzen getrokken worden? Hoorde het missende interval bij de etage erboven, of juist eronder? Om aan dit soort dubbelzinnigheden een eind te maken, is het de nieuwe aanpak van de *International Commission on Stratigraphy* (ICS) om alleen nog maar de grens tussen twee opeenvolgende tijdsintervallen

Geochronologische eenheid		Chronostratigrafische eenheid		
Engels	*Nederlands*	*Engels*	*Nederlands*	*Voorbeeld*
Era	Era (hoofdtijdperk)	Erathem	Eratheem	Mesozoïcum
Period	Periode	System	Systeem	Krijt
Epoch	Tijdvak	Series	Serie	Boven-Krijt
Age	Tijd	Stage	Etage	Maastrichtien

Tabel 1. Overzicht van de geochronologische en chronostratigrafische categorieën. De chronostratigrafische eenheden slaan op concrete laagpakketten, terwijl de geochronologische benamingen alleen betrekking hebben op de tijd zelf. Hebben we het over de afzettingen zelf dan kan nader onderscheid gemaakt worden in Onder, Midden of Boven, terwijl hetzelfde tijdsinterval nader aangeduid kan worden met Vroeg, Midden of Laat.



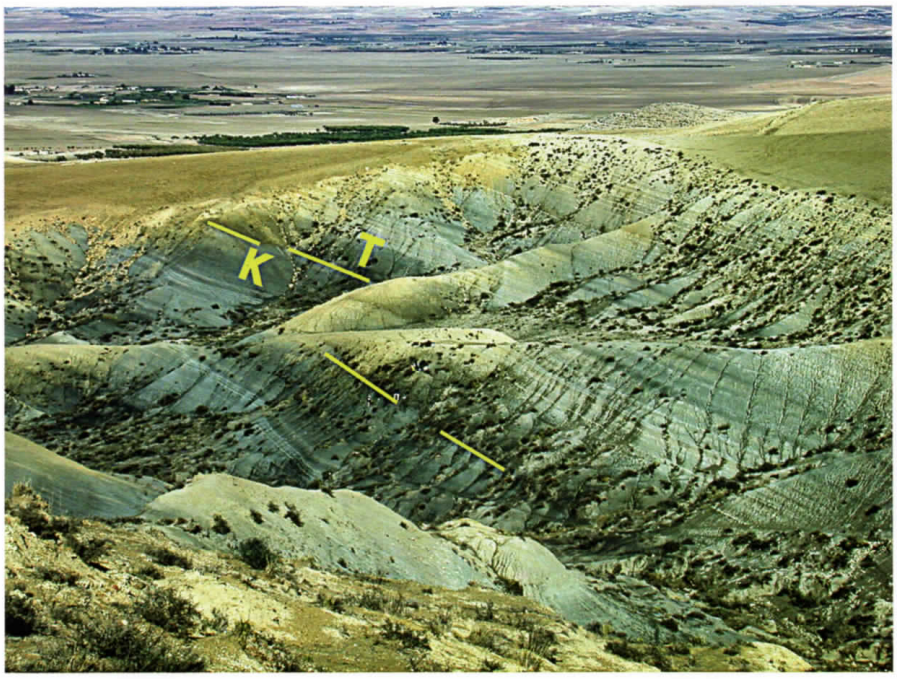
Afb. 2. Dit schema toont het verschil tussen tijdcorrelatie op basis van de klassieke stratotypen en de huidige GSSP's. De stratotypen van opeenvolgende etages liggen doorgaans in geografisch opzicht ver van elkaar verwijderd. Door verbeterde biostratigrafische correlatiemethoden bleken 'klassieke' standaardsecties elkaar in tijd nogal eens deels te overlappen, dan wel juist door een flink hiaat te worden gescheiden. Het is daarom doeltreffender om in een stratotype juist de grens tussen opeenvolgende Etages te definiëren. De vetgedrukte verticale balk geeft het bereik in tijd aan van de gekozen laagopeenvolging. De gevestigde klassieke Etagenamen A-D blijven behouden, maar de GSSP's zijn niet meer gelegen op de locaties W, X, Y, Z, maar bij de plaatsen M, N en O.

te definiëren. Omdat een Etage aan boven- en onderkant begrensd wordt, is het voldoende om alleen de ondergrens in een typesectie te definiëren: de bovengrens is immers de grenssectie van de daaropvolgende Etage. Zulke standaarden voor tijdsgrenzen worden **GSSP**'s genoemd: ***Global Boundary Stratotype Sections and Points***. Meer en meer vervangen zij de originele stratotypen. Van de bijna 100 etagegrenzen zijn er inmiddels ongeveer 50 formeel als GSSP gedefinieerd en erkend (Gradstein en Ogg, 2004). Qua naamgeving is wel besloten om zoveel mogelijk de te goeder naam en faam bekende etagenamen te handhaven. De nieuwe grenssecties hoeven echter niet in de regio te liggen waar de vroegere stratotypen voor de etages gelegen waren. Men zoekt nu de meest ideale opeenvolging ter wereld. Per tijdseenheid zijn daarvoor werkgroepen met specialisten van diverse pluimage aan de slag. Elk land, of elke samenwerkende groep specialisten kan 'kandidaat GSSP's' naar voren schuiven, maar uiteindelijk maakt alleen de beste kans om officieel geselecteerd te worden.

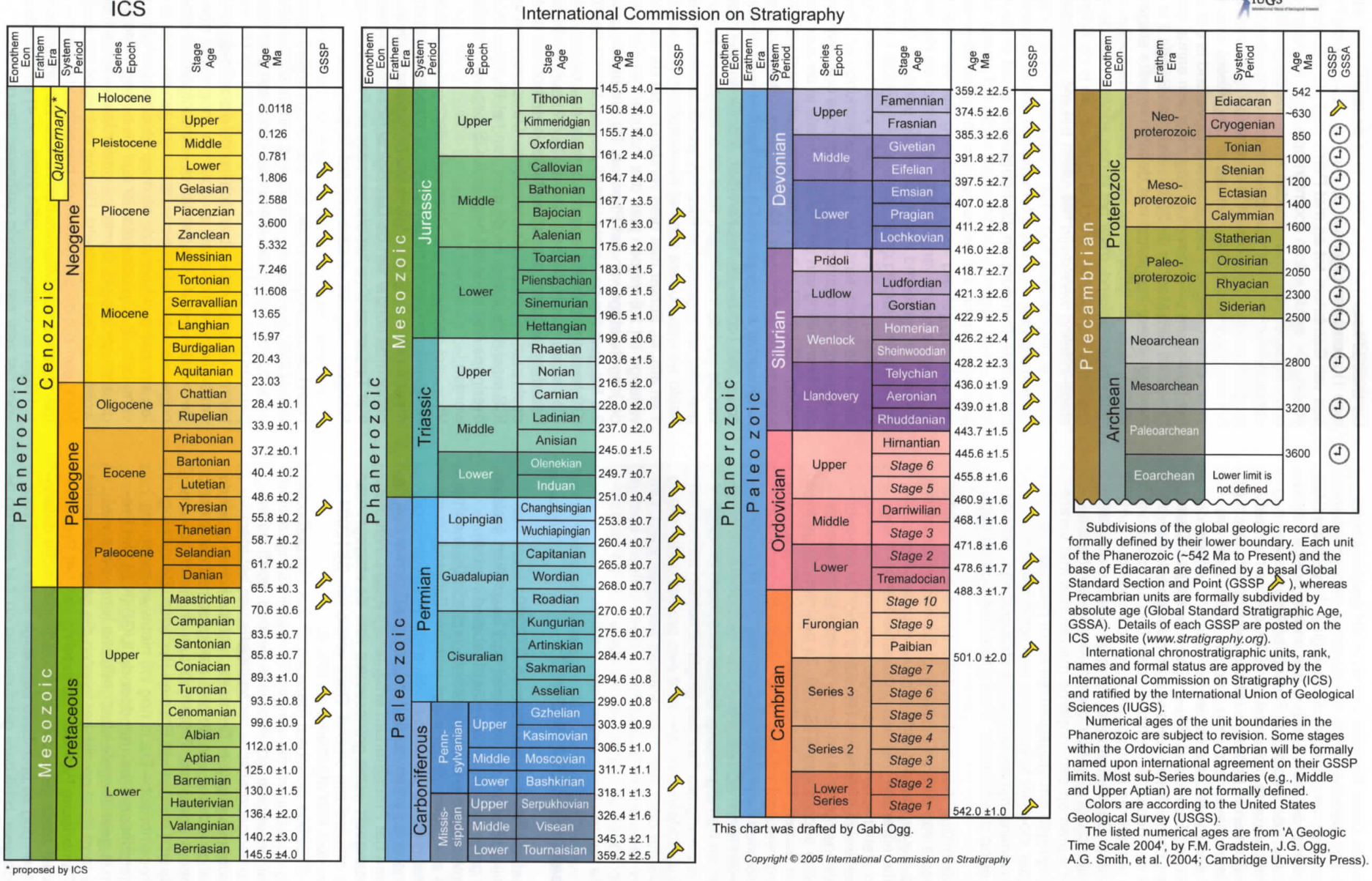
Binnen de zo aangewezen GSSP-sectie wordt vervolgens één laagvlak aangewezen voor de feitelijke overgang zelf (aangegeven door een *golden spike*). Dit is in de praktijk vaak de grens tussen twee goed herkenbare biozones, oftewel een goed waarneembare verschuiving in de fossielinhoud.
De al eerder genoemde ICS-website geeft precies de stand van zaken aan met betrekking tot de erkende GSSP's. Als voorbeeld van een GSSP hierbij een afbeelding van de Krijt-Tertiairgrens in Tunesië, bij El Kef (afb. 3).

Naar GTS2004

Onder auspiciën van de ICS is dus alweer twee jaar geleden de nieuwste officiële tijdschaal gepresenteerd. Een iets vereenvoudigde, maar recentelijk alweer verder verbeterde versie (ICS editie 2006) is op A3-formaat afgebeeld en in deze Gea apart bijgevoegd als Bijlage 1. Over de feitelijke indeling volgt verderop meer. Het begeleidende boekwerk is vooral bedoeld als naslagwerk voor de professionals. Een stuwende kracht achter deze publicatie van formaat was Felix Gradstein, de huidige ICS-chairman. Felix, een bevriende jaargenoot tijdens mijn Utrechtse geologieopleiding, heeft zijn sporen verdiend op het gebied van de kwantitatieve biostratigrafie, naast o.a. werkzaam te zijn geweest voor de olie-industrie. Sinds alweer een aantal jaren is hij hoogleraar in Oslo. Samen met zijn Amerikaanse collega John Ogg (Purdue University, Indiana) publiceerde hij eind negentiger jaren van de vorige eeuw een vernieuwde tijdschaal (Gradstein en Ogg, 1996), die al snel populair werd. Langzaam maar zeker verloor daardoor de tot dan toe toonaangevende tijdschaal GTS1989 (Harland en co-auteurs)



Afb. 3. De sectie bij het dorp El Kef in Noord-Tunesië is formeel aangewezen als Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) voor de basis van de etage Danien en daarmee tevens voor de grens Krijt-Tertiair. Het is een lange sectie door overwegend mergelrijke, open mariene afzettingen. Afgebeeld is niet de officiële GSSP-sectie, maar de feitelijk mooier ontsloten sectie, die enkele kilometers verder naar het zuiden ligt bij het dorp Elles. Deze sectie heeft de formele status van vervangende sectie (Neo(hypo)stratotype). De positie van de grenslaag is met gele stippellijnen aangegeven. Vanwege de bekende K-T grensproblematiek is deze sectie veel bezocht, bestudeerd en bediscussieerd. Zo ook door prof. Jan Smit (VU, Amsterdam), die deze foto ter beschikking stelde.



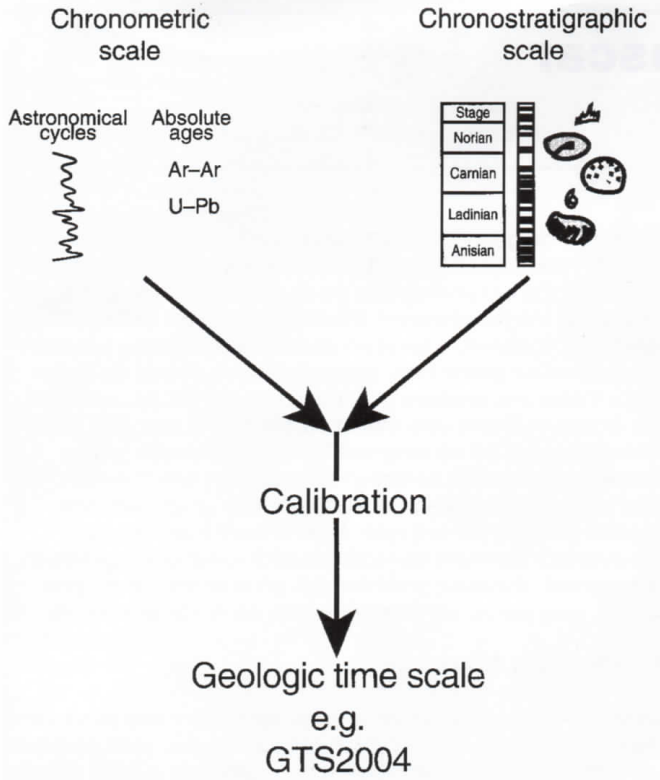
Afb. 4. De van het web te downloaden tijdschaalversie van het IUGS-ICS (status 2005). Deze vereenvoudigde versie legt de nadruk op de inmiddels erkende GSSP's (als 'golden spikes' aangegeven) voor het Fanerozoïcum en het op grond van absolute ouderdommen ingedeelde Precambrium.

aan betekenis. Deze 'Engelse' (en door BP gesponsorde) tijdschaal was toen overigens niet de enige gezaghebbende. De door Elsevier uitgegeven Geological Time Table (Haq en Van Eysinga, 5e druk, 1998) is een andere goede bekende. Zo hanteert de Geological Society of America een nog steeds veel gebruikte tijdschaal uit 1999, die via hun website te bekijken en te printen is (http://www.geosociety.org/science/timescale/timescl.pdf). Voor de liefhebbers van meer dan een overzicht is echter de 'tijdmachine' van de universiteit van Berkeley (USA) veel aantrekkelijker. Deze combineert namelijk een weliswaar minder gedetailleerde tijdschaal met geologische tijdbeelden. Een aanrader om ook eens te bekijken is http://www.ucmp.berkeley.edu/help/timeform.html. Bovendien moet vermeld worden dat delen van deze tijdschaal al eerder door meerdere stratigrafen uitgewerkt waren op een moderne manier, dus met verantwoorde pogingen om etagegrenzen en/of biozones zo betrouwbaar mogelijk te koppelen aan radiometrisch bepaalde ouderdommen en andere stratigrafieën. Ook na 1989 zijn er op deelterreinen belangrijke overzichten gepubliceerd.
De Gradstein-Ogg tijdschaal van 1996 was een compilatie van het beste van diverse eerder gepubliceerde tijdschalen. Met name nieuw was dat deze auteurs voor het Mesozoicum de etagegrenzen met een onzekerheidsinterval (op grond van statistische overwegingen) aangaven. Vanwege hun succes werden de heren benaderd door de bekende Britse 'paleogeograaf' Alan Smith om mee te werken aan een herziene uitgave van GTS1989. Zij besloten dit gedrieën ter hand te nemen. Het uiteindelijke resultaat zou een uitgebalanceerd overzicht moeten geven bedoeld voor gevorderde studenten en professionals en zou vooral de vooruitgang moeten tonen op het gebied van de verbeterde etageconcepten en hun afgrenzing. Omdat Gradstein en Ogg vervolgens belangrijke functies gingen innemen binnen het ICS werd uiteindelijk gekozen voor een project onder gezag van de ICS dat door veel meer auteurs gedragen werd. Om 'deadlines' te halen heeft Gradstein als een volleerd koetsier zijn zweep boven de ruggen van de soms nukkige raspaarden die de kar trokken moeten laten knallen.

Wat maakt GTS2004 anders?

De op posterformaat gepubliceerde GTS2004 toont vier afzonderlijke schalen, die we hierbij kort bespreken. Helaas kan deze grote tijdschaal hier niet afgebeeld worden.
De vereenvoudigde en uiterst recente versie 2006 is echter een goed alternatief, zij het alleen voor het Fanerozoïcum. Deze versie is op A3-formaat als Bijlage 1 los bijgevoegd. Een alternatieve vereenvoudigde versie geeft echter ook de indeling van het Precambrium erbij, terwijl deze bovendien duidelijk aangeeft welke grenssecties voor de etagegrenzen inmiddels officieel zijn erkend. Deze versie van GST2004 is, op A4-formaat, hier afgebeeld als afb. 4.
De grote GTS2004 tijdschaal (deze wordt dus niet getoond) is zodanig opgebouwd dat van rechts naar links ingezoomd wordt naar de jongste tijd. Voor elke periode wordt bovendien een paleogeografische reconstructie van het toenmalige wereldbeeld gegeven. De meest rechtse kolom geeft de grootschalige indeling van de hele aardgeschiedenis weer in de Eonen Archaeicum, Proterozoïcum en Fanerozoïcum, plus de daarbij behorende Era's en Periodes. De indeling van de Precambrische Era is nog vrij nieuw en moet nog formeel geratificeerd worden door de IUGS (N.B. Het Precambrium is geen formele stratigrafische term; deze veel gebruikte term slaat op alle gesteenten die gevormd werden voor de Cambrische Periode). De indeling van het Precambrium berust zoals gezegd alleen op radiometrische dateringen; het toen nog zo primitieve eencellige leven levert voor die periode geen bruikbare gidsfossielen op. Let eens op de naamgeving van de Era's (afb. 4), deze doen erg logisch aan vanwege de gebruikte voorvoegsels Paleo-, Meso- en Neo-.
De tweede kolom in GTS2004 (dit is de eerste kolom in Bijlage 1) zoomt vervolgens in op het Paleozoïcum, de Periodes dus van Cambrium tot en met Perm, met alle bijbehorende etages. De derde kolom zoomt in op Meso- en Kaenozoicum. In deze kolommen worden eveneens de grootschalige veranderingen van het wereldzeeniveau aangegeven en de magnetopolariteit uitgedrukt in chrons (de tijden waarbinnen het aardmagnetisch veld normaal of omgekeerd was; deze staan ook in Bijlage 1 aangegeven). Opvallend is dat voor het Cambrium en Ordovicium nog maar een aantal etages benoemd zijn. Maar in de 2006-versie van Bijlage 1 is deze indeling alweer aangevuld met de allernieuwste etagevoorstellen. Voor dit tijdsinterval zijn weliswaar de nodige regionale etages bekend, maar het is nog zoeken naar de meest geschikte kandidaten. Voor het Ordovicium is de Britse etage-indeling wereldwijd het meest bekend geworden (en deze zal ongetwijfeld nog vaak toegepast worden), maar ook deze kreeg geen formele internationale status, uitgezonderd het oudste Tremadocien. De hoofdreden is dat er door de nogal uiteen liggende landmassa's in die tijd zoveel faunaprovincies waren, dat het aanwijzen van goed correleerbare grensstratotypen erg lastig en dus nog niet helemaal rond is.
In de derde kolom van GTS2004 valt direct op dat het Tertiair niet genoemd wordt, alleen de periodes Paleogeen en Neogeen worden onderscheiden (in Bijlage 1 is het met kleine lettertjes - zie onderaan - toch weer toegevoegd).
De vierde kolom, tenslotte, is een uitwerking van alleen het Neogeen, met naast de polariteitschrons ook een curve van de schommeling van de ^{18}O (de variatie in de zuurstofisotopen ^{16}O en ^{18}O in het oceaanwater) als maat voor klimatologische veranderingen. Alleen in deze isotopencurve wordt het Kwartair aangegeven. De ICS heeft er voor gekozen om zowel het Tertiair als het Kwartair, feitelijk antieke restanten van de oudste indelingen, naar de achtergrond te verdringen. Dat wil zeggen, het Kwartair wordt formeel gehandhaafd als een Subera van het Kaenozoïcum (zie ook Bijlage 1 en afb. 4). Echter met dien verstande dat de duur is verlengd tot 2.6 miljoen jaar, dus inclusief het Gelasien, de jongste etage van het Plioceen. Dit om aan te geven dat 2.6 Ma geleden de eerste 'ijstijd' begon. Verder heeft het ICS besloten dat de Neogene periode nu ook de Tijdvakken Pleistoceen en Holoceen omvat. De rol voor het Tertiair blijft daardoor een zeer ondergeschikte, want het valt grotendeels samen met het Kaenozoïcum. De voorstellen van het ICS inzake de status en de duur van het Kwartair moeten overigens nog door het hogere IUGS-orgaan geratificeerd worden.
Voor veel geologen was deze verandering even schrikken en zeker wennen, want deze ingreep is in radicale tegenstelling met de gebruikelijker indeling (zie bijvoorbeeld de al genoemde schaal van de Geological Society of America) met Tertiair en Kwartair als periodes en Paleogeen en Neogeen als subperiodes van het Tertiair.

Naast de bovengenoemde opvallende veranderingen, is de dus al flink gevorderde verbetering van de chronostratigrafische opeenvolging van etages op basis van grensstratotypen van grote betekenis. Zoals gezegd zijn zoveel mogelijk kennis en gegevens uit verschillende disciplines gebruikt om de lineaire tijdschaal zo optimaal mogelijk te maken.
De kunst is om de lineaire tijd te extrapoleren uit moderne, hoge-resolutie radiometrische dateringen en deze te koppelen aan betrouwbare bio- en magnetostratigrafische gegevens (afb. 5). Op deze manier zijn de belangrijkste etagegrenzen gedateerd. Sommige onderdelen van de tijdschaal worden anders ingedeeld. Bijvoorbeeld voor het jongere Neogeen zijn de astronomisch bepaalde klimaatscycli (de zogenaamde Milankovitch-ritmes, zie het artikel van F. Hilgen en collegae in GEA 2000, nr. 4) een goede basis voor het zeer nauwkeurig calibreren van grenzen.
De Utrechtse werkgroep rond Frits Hilgen en Luc Lourens heeft, met hun magnetostratigrafische collega's zoals Cor



Afb. 5. Het samenstellen van een geologische tijdschaal is het resultaat van samenvoeging van een chronometrische schaal, uitgedrukt in jaren en een chronostratigrafische schaal op basis van formeel vastgestelde eenheden. De laatste zijn een combinatie van biostratigrafische eenheden (biozones), magnetische polariteitszones en andere onderverdelingen van het gesteenteregister (afbeelding met toestemming gereproduceerd uit GTS2004).

Langereis en Wout Krijgsman, inmiddels een uitstekende reputatie opgebouwd ten aanzien van het astronomisch *tunen* van de Neogene tijdschaal. Daarnaast moet geomathematisch en geostatistisch werk niet vergeten worden. Statistische technieken met betrekking tot de extrapolatie van ouderdommen van stratigrafische gebeurtenissen zorgen voor meer precisie bij het toewijzen van ouderdommen aan biozones en andere grenzen. In zeer grote lijnen zijn dit de aspecten die GTS2004 tot een waardevolle en belangrijke tijdschaal maken. Het niet voor niets zo omvangrijke boek legt op een degelijke manier verantwoording af voor alle geselecteerde ouderdommen en eenheden. Niet alleen droegen veel deskundigen hun steentje bij, maar deze co-auteurs vertegenwoordigen ook weer de bestaande stratigrafische werkgroepen. Het belichten van alle wetenschappelijke en methodologische achtergronden laten we echter achterwege. Het is voor de werkelijk geïnteresseerden veel leuker om naar de al eerder genoemde ICS-website te gaan en deze eens goed te bekijken.

De ICS-website bekijken

De ICS-website begint met zich te presenteren als het grootste orgaan binnen de IUGS en de enige organisatie ter wereld die zich bezighoudt met stratigrafie op wereldschaal. Via meerdere keuzemenu's kun je je laten informeren over de stratigrafische subcommissies, alle stratigrafische spelregels (de 'code') voor het goede gebruik van alle verschillende onderdelen van de stratigrafie, zoals bijvoorbeeld biostratigrafie, lithostratigrafie. Uiteraard wordt nadere informatie verschaft over GTS2004. Deze voor promotiedoeleinden gemaakte poster geeft onder andere een overzicht van verschillen in de datering van tijdvakken bij de belangrijkste tijdschalen. Het meest aansprekende onderdeel lijkt me het nader bekijken van het chronologische overzicht van alle Etages met de Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSP's). Alle inmiddels officieel goedgekeurde GSSP's zijn in blauw aangegeven en kunnen aangeklikt en/of gedownload worden voor verdere informatie. Zo vind je

Aangeven om welk grensstratotype het gaat, het stratigrafisch kader ervan, plus rang en status van de grens
De ligging van de sectie en de geologische situatie beschrijven
Geologie en geografische ligging in een kaartje aan te geven
De lithologie, sedimentologie en paleobathymetrie (diepte van afzetting in zee) worden behandeld
De sectie moet toegankelijk zijn, zowel in logistieke als politieke zin
De sectie moet onderhouden worden en in het veld nader aangeduid worden
De sectie moet goed ontsloten zijn en geen hiaten bevatten
De sectie moet wereldwijd te correleren zijn op grond van een combinatie van biostratigrafie, magnetostratigrafie, stabiele-isotopenstratigrafie en welke andere methodes beschikbaar zijn
Zo nauwkeurig mogelijke schatting van de ouderdom in miljoenen jaren
Verwijzen naar beschikbare achtergrondpublicaties

Tabel 2. Voorwaarden waaraan een GSSP moet voldoen voor deze erkend kan worden.

voor elke GSSP een kaartje met de ligging van de sectie (voor sommige lezers een mogelijk reisdoel?? Ze variëren van Zweden tot China), de stratigrafische opeenvolging met daaraan gekoppeld de biostratigrafische gegevens. Verder is voor sommige GSSP's ook de officiële IUGS-publicatie in het tijdschrift Episodes aan te klikken. Kortom, er is veel te grasduinen. Succes ermee.

Literatuur

Figuier, L., 1863. La Terre Avant Le Déluge. Paris, Librairie de L. Hachette et Cie, 504 pp.
Gradstein, F.M. en Ogg, J.G., 1996. A Phanerozoic Time Scale. Episodes, vol. 19: 3-5, met bijlage.
Gradstein, F.M. en Ogg, J.G., 2004. Geologic Time Scale 2004 – Why, how and where next! Zie website ICS en voorzien van tijdschaal.
Gradstein, F.M., Ogg, J.G. en Smith, A.G. et al., 2004. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press, 589 pp., incl. time scale op posterformaat.