

Als Linnaeus het eens wist ...

Veranderingen in de taxonomie

Classificatie van flora en fauna nu via genetische eigenschappen

door Huub Bruens

Het zal weinigen zijn ontgaan dat 2007 het Linnaeusjaar was. De 300 jaar geleden geboren Zweedse geleerde heeft met zijn 'Systema Naturae' en zijn vastberaden doorvoering van de binaire nomenclatuur een belangrijke stap voorwaarts gedaan in de ordening van de levende wezens. Hoewel Linnaeus' kunstmatige classificatie van groot belang was en nog is, wordt er al tijden gemorrelt aan de door hem gelegde grondslagen. Leuk zal de ijdele Linnaeus dat niet gevonden hebben, hijzelf typeerde immers zijn belangrijkste werk als volgt: *Systema Naturae* (is een) meesterwerk dat men nooit genoeg kan herlezen en nooit te veel zal prijzen.

Een lange voorgeschiedenis in het kort

Waarschijnlijk al sinds de mens kon denken is hij bezig geweest de natuur in te delen. Eetbaar of niet eetbaar? Tembaar of niet? Deze vitale kennis moest correct worden doorgegeven van generatie op generatie. Met het toenemen van de reisafstanden werd de noodzaak de natuur te ordenen steeds groter.

In de 3e-4e eeuw v.Chr. onderscheidde de Griek Theophrastus al families in de plantenwereld. Theophrastus, een leerling van Aristoteles, wordt gezien als de vader van de botanie. Hij maakte onderscheid in bomen, struiken, één- en tweejarige planten, vaste planten en verschillende vormen van ontluiten van bloemen. Ook beschreef hij de soorten naar plaatsing van vruchtbeingsel en bloemdek.

In de eerste eeuw werden in de *Materia Medica* – opgetekend door Dioscorides, een arts van keizer Nero's leger – uit Chinese mondelinge overleveringen ook groepen van (medicinale) planten beschreven, die op basis van één enkel kenmerk als familie werden beschouwd. Het gaat dan wel om groepen van planten met een heel duidelijk, gezamenlijk kenmerk. Bijvoorbeeld de palmen, de grassen en de schermbloemen werden onderscheiden als natuurlijke groepen: families. Alle planten met een schermvormige bloeiwijze hoorden bij elkaar, planten zonder zo'n bloeiwijze behoorden automatisch niet tot die familie. De *Materia Medica* bleef zo'n vijftien eeuwen het belangrijkste botanische geschrift. Vele eeuwen later – eind 15e, begin 16e eeuw – was het Otto Brunfels die als een van de eersten na de klassieken zelfstandig de omringende plantenwereld beschreef. Zijn werk werd nog vaak beheerst door waanideeën¹.

In de 16e eeuw was Cesalpino eigenlijk de eerste plantentaxonom. In zijn *De plantis* legt hij de basis voor de classificatie van circa 1.500 planten. Bij hem was de vorm van de plant een eerste onderscheidend kenmerk, dan volgden vrucht- en zaadvorm.

"God schiep, Linnaeus ordende"

(Uitspraak van... Linnaeus)

¹ Planten die nogal veel op elkaar leken onderscheidde men vroeger wel door de achtervoegsels: **-manneken** en **-wijfken**. Deze achtervoegsels stonden niet in verband met de geslachtsorganen van de planten, want men had van de geslachtsorganen bij planten nog geen begrip. Men noemde de krachtigste van twee planten het manneken, de zwakste het wijfken. Enkele voorbeelden: *Eupatorium cannabinum* (koninginnenkruid) heette **boelkencruydtmanneken**, terwijl *Bidens tripartita* (veerdelig tandzaad) **boelkencruydtwijfken** heette; de planten komen in bladvorm en groeiplaats overeen. Zo heette de *Plantago major* (grote weegbree) vrouwtjesplantein, en de *Plantago lanceolata* (smalle weegbree) mannetjesplantein. *Polygonum aviculare* (gewoon varkensgras), dat aan de wegganten groeit, noemde men **duysentknoopmanneken**, de in het water groeiende *Hippuris vulgaris* (lidsteng) **duysentknoopwijfken**. Bij de *Cannabis sativa* (hennep) onderscheidde men wel binnen één geslacht mannelijke en vrouwelijke planten: **kempmanneken** en **kempwijfken**, maar de plant met de meeldraadbloemen, dus wat wij mannelijk noemen, noemden zij wijfken, omdat het de zwakste plant was...



Afb. 1. De buste van Linnaeus in de Botanische Tuin in Wageningen.

In de 18e eeuw was het dus Carolus Linnaeus die de taxonomische toon aangaf. Afb. 1 en 2. Hij bedacht een kunstmatig systeem op basis van aantallen geslachtelijke kenmerken (aantal meeldraden, aantal vruchtbladen enzovoort) en noemde dat zijn *Systema naturalis* (1735). Deze publicatie van twaalf pagina's was in die tijd werkelijk schokkend: seksualiteit was een groot taboe waar men eenvoudig niet over sprak. Bovendien was men nog maar pas op de hoogte van seksuele organen bij planten. Met de expliciete termen en gedurfde beeldspraak waarmee Linnaeus de seksuele organen van planten beschreef, en deze zelfs tot middelpunt van zijn theorie maakte, hadden veel van zijn tijdgenoten grote moeite. Bloemen met één stamper en acht meeldraden omschrijft hij als 'acht echtgenoten in hetzelfde bed met één vrouw'. Paus Clemens vindt de publicatie zo obscen dat hij het onderwijs in deze methode verbiedt in alle landen die onder zijn pontificaat vallen. De vrouwelijke kuisheid zou erdoor gevaar lopen.

Een ander werk van Linnaeus dat grote invloed heeft gehad op de botanische wereld is *Species Plantarum*. Dit in 1753 verschenen werk is de basis voor de naamsbeschrijving van planten. In

dit boek werden alle toen bekende plantensoorten beschreven en voorzien van een naam die uit twee leden bestaat: een geslachtsnaam (*genus*) en een soortaanduiding (*species*). Samen vormen deze de soortnaam. Vaak wordt Linnaeus genoemd als bedenker van dit systeem, dit is ten onrechte. Wel was hij de eerste die deze binaire nomenclatuur consequent doorvoerde en zo de naamgeving van planten sterk vereenvoudigde. Voorheen hadden planten uitgebreid omschreven *frasennamen*. Eén van de kortere frasennamen had de zwarte vlier: *Sambucus caule arborea racemosa floridus umbellatis baccatus nigra*². Linnaeus herdoopte deze plant: *Sambucus nigra*. Het consequent doorvoeren van het verkorte namenstelsel werd nog voor zijn dood door de meeste plantkundigen (en zoölogen!) overgenomen.



Afb. 2. Het Linnaeus-torentje in Harderwijk, een restant van de Universiteit waar de – naar men zegt – straatarme Carl von Linné op 17 juni 1731 voor 131 gulden en zeven stuivers zijn doctorsgraad behaalde. "Harderwijk is een stad van negotie. Men koopt er bokking, blauwbessen en bullen van promotie", luidt een rijmpje uit die tijd.

Linnaeus beschreef niet alleen planten maar ook mineralen en dieren. Hij was de eerste die de mens indeelde bij de zoogdieren. Ver voor Darwin brak Linnaeus dus al min of meer met het Bijbelse idee dat de mens een geheel op zichzelf staand wezen is. Wel was Linnaeus, net als de meeste van zijn tijdgenoten, overtuigd dat de natuur onveranderlijk door God was geschapen. De mens was volgens Linnaeus daarom nog wel ver boven de andere zoogdieren verheven. Linnaeus verdeelde de mens onder in 6 soorten, waarbij de Europese mens gunstig afsteekt tegen de bewoners van andere werelddelen. Zo is de Europese mens 'bekwaam tot uitvindingen' en wordt hij 'geregeerd door wetten',

waar bijvoorbeeld de Amerikaan wordt 'geregeerd door gewoonte' en de Afrikaan door 'willekeur'.

Een groot tegenstander van Linnaeus was de Franse natuuronderzoeker en intendant van het Parijse Jardin des Plantes George Louis Leclerc, comte De Buffon. Ego's en ideeën van de beide heren botsten behoorlijk met elkaar. Zo dacht De Buffon al, na uitgebreid onderzoek van levensgewoonten en eigenaardigheden bij dieren, dat soorten kunnen evolueren, iets wat Linnaeus als belachelijk verwierp. Om zijn achting voor De Buffon te uiten heeft Linnaeus een dier naar zijn opponent genoemd, de *Bufo bufo*, ofwel de gewone pad.

Maar na Linnaeus brak de tijd aan voor werkelijk natuurlijke systemen. Uit Frankrijk en Groot-Brittannië kwamen systemen, gebaseerd op de plantenrijkdom die vanuit hun koloniën naar Europa kwam: Adanson, De Jussieu, De Candolle zijn de bekendste namen uit Frankrijk; Bentham en Hooker uit Engeland.

Verschillende classificatiesystemen

Grofweg kunnen er drie vormen (systemen) van classificatie worden onderscheiden: de kunstmatige, de natuurlijke en de fylogenetische.

Het eerste systeem om de plantenwereld in te delen, was gebaseerd op één of een paar kenmerken van de planten. Die indeling werd indertijd als heel 'natuurlijk' ervaren, maar is juist een goed voorbeeld van een kunstmatig systeem. Het was voor het gemak bedacht. Het was handig, prettig als determinatiehulp. Jammer is alleen dat dit kunstmatige systeem geen recht doet aan de ongelofelijke verscheidenheid aan kenmerken en karakters die planten bezitten.

Het natuurlijke systeem is een ordening van de natuur die de rangorde volgt die verondersteld wordt aanwezig te zijn. Dit systeem maakt gebruik van een groot aantal karakters per plant (of ander organisme). Die kunnen ofwel meteen in het oog springen, of pas na goed bestuderen duidelijk worden.

Het fylogenetisch systeem tenslotte weerspiegelt de erfelijke eigenschappen en toont de plaats van de plant in het evolutieproces. De laatste stap hierin wordt gemaakt met behulp van DNA-onderzoek. Die stap is overigens pas in de tweede helft van de vorige eeuw gezet.

Het fylogenetisch systeem

Pas nadat Darwins evolutietheorieën gewoonged waren geworden, kwam het fylogenetisch systeem tot ontwikkeling.

Zo ontstond de indeling van het plantenrijk naar veronderstelde evolutionaire ontwikkelingsstadia: van planten met primitieve kenmerken naar die met meer geëvolueerde kenmerken.

Dicotylen (tweezaadlobbige planten) vond men meer ontwikkeld dan monocotylen (éenzaadlobbige planten) en orchideeën meer dan grassen.

Sindsdien zijn steeds meer gegevens verzameld. In de tweede helft van de 20e eeuw gingen hierbij ook anatomie en fytochemie een rol spelen.

Een volstrekt nieuwe stap werd gezet door onderzoek naar het genetisch materiaal van planten, opgeslagen in de plantencel. Niet alleen het planten-DNA werd onderzocht, maar ook andere celorganen of organellen werden aan uitvoerig onderzoek onderworpen. Daarmee kwamen verrassend veel, vaak met elkaar overeenstemmende gegevens beschikbaar.

Door de parallelle ontwikkeling van gegevensverwerkers (de computer dus) en programma's (de software) werd het mogelijk enorme sets aan data op een snelle en handige manier te verwerken en met elkaar te vergelijken.

In 1993 verscheen het eerste grote artikel, door de Amerikaan Chase met 42 collega's geschreven, waarin van circa 500 planten de genetische gegevens met elkaar werden vergeleken.

Daarbij werd een poging gewaagd op basis van erfelijkheids-

² Een struik met houtige, sterk vertakte stengels en een schermvormige bloeiwijze, later veranderd in 'zwarte bessen'.

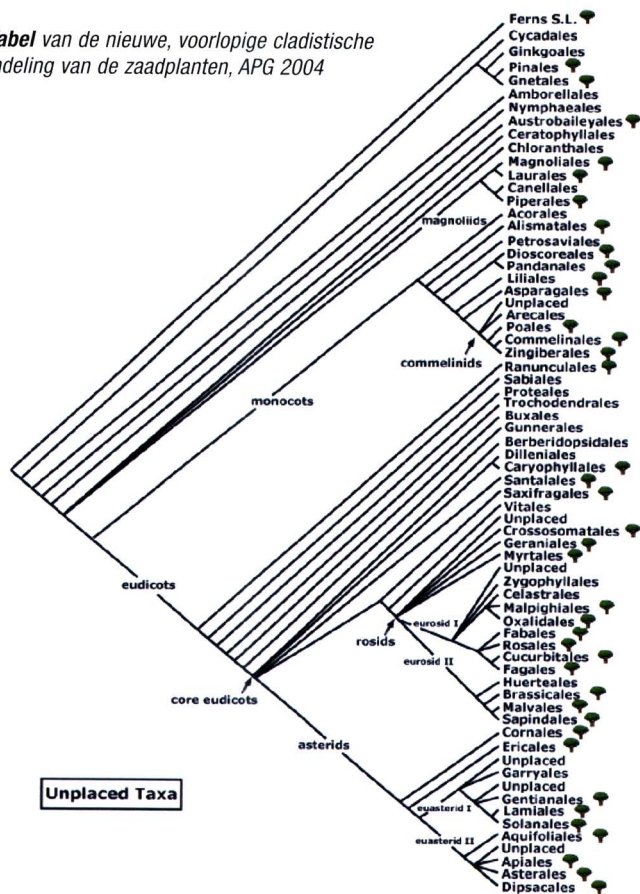
materiaal de verbanden in de plantenwereld opnieuw in kaart te brengen. De genetische classificatie was geboren.

The Angiosperm Phylogeny Group

In Amerika zijn onderzoekers van The University of Missouri, St. Louis al sinds enkele jaren bezig met name de grote groep (of beter: *subdivisio* of onderafdeling) van bedektzadige planten (*Angiospermae*) opnieuw in te delen volgens de cladistische methode (zie hieronder). Men publiceert onder de noemer Angiosperm Phylogeny Group (APG), en is op dit moment toonaangevend in de taxonomische wereld. Botanische standaardwerken in alle landen ter wereld worden volgens deze indeling herschreven. In Nederland resulteerde dat bijvoorbeeld in een nieuwe Heukels' Flora van Nederland (23^{ste} editie), en een 14^e druk van Nederlandse Dendrologie van B.K. Boom (verwacht voorjaar 2009). Via DNA-onderzoek probeert het APG feitelijke evolutionaire relaties tussen planten vast te leggen en zich daarbij strikt te baseren op gedeelde, afgeleide overeenkomsten (zogenaamde *synapomorfieën*; gelijke vormen door gezamenlijke afstamming)³. Stambomen worden via de cladistische methode opgezet. Dit wil zeggen dat door een analyse van de morfologie zoveel mogelijk eigenschappen van de te vergelijken soorten bepaald worden, waarna deze in een computerprogramma ingevoerd worden. De computer berekent vervolgens de stamboom die het minste aantal 'stappen' (veranderingen in vorm) vergt om alle onderzochte soorten in een evolutionair verband te brengen (en die dus het waar-schijnlijkst is). Zo'n stamboom heet een cladogram, zie de tabel.

Cladistiek verschilt dus van de klassieke benadering door de evolutionaire systematiek. In de classificatie worden alleen monofyletische groepen opgenomen, de zogenaamde clades. Een groep organismen (een taxon) is *monofyletisch* als aangenomen mag worden dat alle organismen van *dezelfde* stamvader afstammen **en** alle afstammelingen ervan in de groep geplaatst

Tabel van de nieuwe, voorlopige cladistische indeling van de zaadplanten, APG 2004



3 Dit is dus anders dan tot dusver gebruikelijk waarbij alleen globale overeenkomst in morfologie werd gebruikt

zijn. Als een taxon niet aan de eerste voorwaarde voldoet noemt men deze *polyfyletisch*. Een taxon dat wel aan de eerste maar niet aan de tweede voorwaarde voldoet heet *parafyletisch*. Een voorbeeld: een taxon 'vleugeldieren' dat zou bestaan uit vogels, vleermuizen en insecten zou polyfyletisch zijn omdat deze drie groepen uit verschillende voorouders ontstaan zijn. Een voorbeeld van een parafyletisch taxon uit het dierenrijk is de klasse *Reptilia*. Dit taxon bevat traditioneel de hagedissen, slangen, schildpadden, de brughagedis en de krokodillen. Zij hebben allemaal wel een gezamenlijke voorouder, maar de vogels bijvoorbeeld stammen daar ook vanaf, omdat zij uit een groep 'reptielen' ontstaan zijn. De *Reptilia* is dus een parafyletische groep tenzij de vogels er ook bij geteld worden... Parafyletische en polyfyletische groepen worden als clade dus afgewezen.

Omdat een cladogram zeer veel clades kan bevatten, probeert men een keuze te maken door alleen namen te geven aan relevante relaties tussen interessante soorten. Dit maakt de naamgeving stabiel en geeft wat richting aan de theorievorming. Maar het vormt ook een subjectief element binnen een methode die poogt juist zo objectief mogelijk te zijn.

De naamgeving geschiedt doordat een clade gedefinieerd wordt door óf synapomorfieën als indicaties van afstamming, óf pure afstamming, óf een combinatie van beide. De tweede methode wordt steeds meer gebruikelijk. Definities hebben dan de vorm: "clade K is de groep omvattende de laatste gemeenschappelijke voorouder van soorten X en Y en al zijn afstammelingen" (*node-clade*) of "clade K is de groep omvattende soort X en alle soorten die nauwer verwant zijn aan soort X dan aan soort Y" (*stemclade*). Hoewel dit niet echt noodzakelijk is voor het hanteren van de cladistische methode, pleegt men hierbij om praktische redenen de oude rangonderscheidingen van de taxonomie achterwege te laten, met uitzondering van de geslachts- en soortnamen. De entomoloog Willi Hennig wordt algemeen beschouwd als de 'vader' van de cladistiek.

...geldt ook voor de dieren!

Ook in het dierenrijk heeft de genetische classificatie voor veranderingen gezorgd.

Uit DNA-onderzoek van de zoogdieren is bijvoorbeeld gebleken dat sterk ingeburgerde taxa als de Orde *Insectivora* (insecteters) in werkelijkheid polyfyletisch waren. De Afrikaanse en Madagaskische leden van dit taxon bleken eerder aan de olifanten dan aan de Europese egels of spitsmuizen verwant. Ook de walvissen bleken eerder aan de nijlpaarden dan aan de uitgestorven *Mysonychidae* verwant, terwijl paleontologen toch juist deze verwantschap met grote stelligheid hadden beweerd.

Dankbetuiging

Met dank aan Jan de Koning

Bronnen/meer lezen:

<http://www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/welcome.html>
Engelstalige website van de universiteit van Missouri, het hoofdkwartier van het APG. Op deze site kunt u door 'Trees' in de browser aan te klikken de hier afgebeelde nieuwe indeling van de zaadplanten vinden, met doorklikmogelijkheden. Er is ook een uitgebreide lijst met 'links'.

<http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/about/overview.html>
Engelstalige website van de universiteit van Michigan, met zoekmogelijkheden naar dieren (geen fossielen) op elk taxonomisch niveau.

<http://tolweb.org/tree/phylogeny.html>
Alweer een Engelstalige website. Deze website is een poging van biologen van over de hele wereld om de levende organismen te ordenen op fylogenetische basis. Ook fossielen!