

Botanische classificatie en naamgeving

een introductie —

*Marc S.M. Sosef
Jérôme Degreef
Henry Engledow
Pierre Meerts*



Botanische classificatie en naamgeving

een introductie –

*Marc S.M. Sosef
Jérôme Degreef
Henry Engledow
Pierre Meerts*



Plantentuin Meise

by Marc S.M. Sosef¹, Jérôme Degreef^{1,2}, Henry Engledow¹ & Pierre Meerts³

¹ Plantentuin Meise, Nieuwelaan 38, B-1860 Meise, België

² Service Général de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique, Fédération Wallonie-Bruxelles, Rue A. Lavallée 1, B-1080 Brussel, België

³ Herbarium et bibliothèque de botanique africaine, Université Libre de Bruxelles, Av. F.D. Roosevelt 50, CP 265, B-1050 Brussel, België

Copyright © 2020 Plantentuin Meise, Nieuwelaan 38, 1860 Meise, België.

Vertaling in het Nederlands: Marc S.M. Sosef, Plantentuin Meise, Nieuwelaan 38, B-1860 Meise, België.

Gedrukt in België door Drukkerij Bulckens.

Deze publicatie wordt gepubliceerd en verspreid in Open Access onder de Creative Commons Attribution 4.0 International licentie (CC-BY 4.0), die gebruik, distributie en reproductie in elk medium toestaat, mits het originele werk correct wordt geciteerd. Een pdf-bestand van deze publicatie is gratis te bestellen (stuur een email naar webshop@plantentuinmeise.be), of download vanuit de webshop van Plantentuin Meise op <http://shopbotanicgarden.weezbe.com>.

DOI: 10.5281/zenodo.3931201

CIP Royal Library Albert I, Brussels

Botanische classificatie en naamgeving, een introductie. Marc S.M. Sosef, Jérôme Degreef, Henry Engledow & Pierre Meerts - Meise, Plantentuin Meise, 2020. - 76 p.; ill.; 22 × 15 cm.

ISBN 9789492663238

Subject: Botanie

D/2020/0325/005



Inhoud

Inleiding	5
1. De geschiedenis van het classificeren	9
1.1 Van Theophrastus tot de middeleeuwen	11
1.2 De Renaissance, de pre-Linneaanse periode	15
1.3 Linnaeus en zijn volgers	17
1.4 Evolutionair denken doet haar intrede	19
1.5 Fenetica, cladistiek en fylogenetica	20
1.6 Over natuurlijke groepen, monofylie, parafylie en polyfylie	23
2. Soortconcepten	27
2.1 Wat is een soort?	28
2.2 Soortvorming	30
2.3 Infraspecifieke taxa	31
3. De regels van de botanische naamgeving	33
3.1 ICN: het wetboek	34
3.2 Van koninkrijk tot ondervorm, verplichte categorieën	35
3.3 Het typeconcept	36
3.4 Geldige en effectieve publicatie	36
3.5 Typen	37
3.6 Auteursnamen, nieuwe taxon-namen, nieuwe combinaties	40
3.7 Geaccepteerde namen en synoniemen: de prioriteitsregel	41
3.8 Hybriden	44
3.9 Cultuurplanten	44
4. De kunst van het identificeren	46
4.1 Identificatiesleutels	47
4.2 Multi-entry sleutels	51
4.3 DNA-barcodering	53
4.4 Identificatie van herbariumexemplaren	54

5. Het uitvoeren van een taxonomische bewerking	56
A. Taxon-namen en literatuurstudie	58
B. Werken met herbariummateriaal	60
C. Databestanden	62
D. Geografische en ecologische gegevens	63
E. Taxonomische en nomenclatorische beslissingen	65
F. Het maken van taxonbeschrijvingen, behandelingen, illustraties en sleutels	67
G. Het manuscript produceren en publiceren	68
Literatuurreferenties	73

Inleiding



Biologie is de wetenschap die de levende wereld om ons heen exploreert. Om over de wonderen van de natuur te kunnen communiceren, zijn namen nodig om de verscheidenheid aan vormen die we tegenkomen te kunnen duiden. Men kan de enorme natuurlijke diversiteit weergegeven door middel van een hiërarchische structuur, waarbij namen worden gebruikt om groepen organismen op verschillende niveaus aan te duiden. De classificatie en naamgeving van organismen is een essentieel hulpmiddel voor wetenschappelijke communicatie. Het vormt de basis waarop biologisch onderzoek is gebaseerd en de discipline wordt "Taxonomie" genoemd. Taxonomen onderzoeken, beschrijven, benoemen en classificeren alle levende organismen op aarde.

Het correct classificeren en benoemen van organismen is cruciaal voor een breed scala aan biologische onderzoeksgebieden. Een dergelijk kader is ook essentieel om de onderwerpen rond duurzaam gebruik, beheer en behoud van biodiversiteit te bespreken, met inbegrip van hun juridische context. Dit boekje geeft een overzicht van de belangrijkste elementen en processen van het classificeren en de naamgeving van planten en schimmels, ofwel het vakgebied genaamd "Plantentaxonomie". We beginnen met een historisch overzicht van deze discipline. Hoewel we niet uitputtend ingaan op de methoden om evolutionaire stambomen te reconstrueren (fylogenetica), wordt wel de historische context van de ontwikkeling ervan gegeven en enkele elementen die rechtstreeks van invloed zijn op taxonomische beslissingen worden behandeld. Het doel van dit boekje is om een praktische inleiding te geven op dit onderzoeksveld. Als zodanig kan het worden gebruikt door degenen die een specifieke interesse hebben in de classificatie en naamgeving van planten, maar ook door hen die dit vak doceren aan instellingen voor middelbaar en hoger onderwijs.

Hoewel de informatie algemeen is, zijn de meeste voorbeelden afkomstig van tropisch Afrikaanse planten en schimmels. Elk hoofdstuk wordt gevolgd door een overzicht van de literatuur en online beschikbare bronnen met betrekking tot de behandelde onderwerpen. Dit is zeker niet uitputtend en richt zich opnieuw voornamelijk op de taxonomie van Afrikaanse planten en schimmels.

De auteurs hopen dat deze publicatie zal bijdragen aan de ontwikkeling van taxonomische expertise, met name die in de Centraal-Afrikaanse regio. Dit boekje wordt ook geproduceerd in het Engels, Frans, Spaans, Portugees en Indonesisch, en zal (vrijwel) gratis beschikbaar zijn (onder de CC-BY-licentie) voor middelbare scholen en universiteiten (zowel docenten als studenten), met de complimenten van Plantentuin Meise.



**De geschiedenis van
het classificeren**





THEOPHRASTVS

Elke biologische studie begint met de simpele vraag ‘Wat is dit?’. Of het nu gaat om een beheerder van een natuurgebied die wil weten welke soorten binnen de parkgrenzen groeien om zo een beheerplan op te stellen; een primatoloog die het voedsel van chimpansees bestudeert; of een plantenveredelaar die de naaste verwanten van de aardappel onderzoekt op zoek naar een ziekteresistent gen, ze moeten allemaal hun materiaal kunnen identificeren en benoemen. Bij voorkeur worden overal ter wereld dezelfde namen gebruikt en geaccepteerd.

De behoefte aan een uniform systeem voor het benoemen van de levende wereld werd al erkend door de oude Grieken en Romeinen. Zij gaven al namen aan ‘entiteiten’, die we nu soorten noemen, met hun specifieke morfologische kenmerken en gebruiken. Sommige produceerden bijvoorbeeld eetbare vruchten of een gele kleurstof, andere hadden geneeskrachtige eigenschappen, of waren nuttig voor het maken van muziekinstrumenten, enz.

In dit hoofdstuk (grotendeels gebaseerd op Magnin-Gonze 2009 en Rouhan & Gaudeul 2014) belichten we de belangrijkste historische fasen in de ontwikkeling van de naamgeving en classificatie van planten. De naam voor dit wetenschapsgebied werd in 1813 voor het eerst gepubliceerd door de Zwitserse botanicus Augustin Pyramus De Candolle (1778–1841) in zijn boek “Théorie élémentaire de la Botanique”. Hij creëerde het neologisme “taxonomie” door de Griekse woorden *τάξις* (orde) en *νόμος* (wet, regel) te combineren.

1.1 Van Theophrastus tot de middeleeuwen

Zelfs vóór de uitvinding van de geschreven taal, ongeveer 5600 jaar geleden, bestond er waarschijnlijk een classificatiesysteem voor planten dat mondeling werd overgedragen. Aanvankelijk werden namen en organismen niet in een hiërarchisch systeem geplaatst, omdat de planten allemaal werden genoemd naar hun gebruik, zoals voedsel, medicijn, vergift of bouw materiaal (Raven 2004).

De Grieken beschouwden planten waarschijnlijk niet alleen als nuttig, maar ook als esthetisch; de muurschilderingen in Knossos (1900 voor Christus) tonen niet alleen nuttige planten zoals gerst, vijgen en olijven, maar ook narcissen, rozen en lelies. De Griek Theophrastus (372–287 v.Chr.; figuur 1), opvolger van de grote filosoof Aristoteles, staat bekend als de eerste echte botanicus. Geïnteresseerd in het benoemen van planten en het vinden van een ordening in de diversiteit aan planten, was hij de eerste die ons een filosofisch overzicht van de plantenwereld gaf. Hij wees op enkele van de belangrijke vragen die later de taxonomie zouden definiëren, zoals “Wat hebben we?” of “Hoe maken we onderscheid tussen deze dingen?” Bovendien was hij de eerste die de

◁ *Figuur 1. Standbeeld van Theophrastus in de botanische tuin van Palermo, Italië.*

relaties tussen plantensoorten besprak en manieren voorstelde om ze te groeperen. Theophrastus beschreef ca. 500 planten - waarschijnlijk alle toen bekende soorten - en classificeerde die als bomen, struiken, dwergstruiken en kruidachtigen.



◁ Figuur 2.
Plinius de Oudere..



◁ Figuur 3.
Dioscorides.

Hij maakte ook een onderscheid tussen bloeiende en niet-bloeiende planten, bladverliezende en groenblijvende bomen en tussen land- en waterplanten. Hoewel 80% van de planten die in zijn werken waren opgenomen werden gekweekt, noteerde hij; “de meeste wilde soorten hebben geen naam en we weten er maar weinig van”. Daarmee onderstreepte hij de noodzaak om planten die in het wild groeien te kunnen herkennen, beschrijven en benoemen (Pavord 2005). Hij gooide al snel zijn klassen van bomen,

struiken, dwergstruiken en kruidachtigen overboord ten gunste van een systeem gebaseerd op bloemvormologie, wat beter geschikt was om planten in meer natuurlijke groepen bijeen te zetten. Theophrastus was zijn tijd ver vooruit, zo ver zelfs dat zijn botanische ideeën en concepten in Europa eeuwenlang verloren raakten. Zijn werken overleefden in Perzië en Arabië, en werden pas in de 15e eeuw in Europa herontdekt toen zij werden terugvertaald naar het Grieks en het Latijn. Tijdens deze lange donkere periode voor de plantkunde waren, net als voor alle andere natuurwetenschappen in Europa, de Romeinse Plinius de Oudere (23–79 AD; figuur 2) en de Griekse Dioscorides (~40–90 AD; figuur 3) twee belangrijke personen. Hoewel ze de bestaande kennis en methodes over de beschrijving, naamgeving of classificaties van planten niet verbeterden, verzamelden ze alle beschikbare kennis en werden hun geschreven werken vermaard en algemeen gebruikt. Eeuwenlang waren de *Naturalis*

Historia van Plinius en de De Materia Medica van Dioscorides (figuur 4) de enige informatiebron over planten in heel Europa en werden hun werken herhaaldelijk gekopieerd. 'Kruidkundigen' probeerden planten die ze in Frankrijk of Groot-Brittannië vonden te koppelen aan planten die Plinius en Dioscorides vanuit de Middellandse Zee beschreven en afbeeldde, en men kan zich de problemen voorstellen die ze daarbij ondervonden. Gedurende de middeleeuwen werd er nauwelijks nieuwe kennis aan deze oude werken toegevoegd.



△ Figuur 4. Pagina uit de Materia Medica van Dioscorides met Cassia fistula.



Vierte Reutter
buech

Darinn vil schöne vnd kramb

de vierter durch den Hochgeleuten Herrn Leonhart Raimvolffen der Artzney Doctor vnd der Stat Augspurg bestellten Medicum gar fleißig eingeleget vnd außgemacht worden. Welche er nit allam indiamont vmb Nissa vnd in der Prouincia vmb Karthago sonder auch in Syria an dem berge Libano vnd Antilibano auch durch Arabiam neben den fließ Cyptrate in Balbara P Syria Armenia Mesopotamia vnd andern orten in seinen mit Gottes hilff selbst nachten dreijährigen kramfen mit großer mühe arbeit geschicklichheit vnd vncosten

bestimmen hat dauon Kraut in sein an kramfbuech so in dem vuch außgangen ist meldung thuet.

Welchen nach der geburt
vnder Schamaden

M. D. LXXIII.
L. XXIII. vns
L. XXV. Jar.

ACAD

LXXIII

1.2 De Renaissance, de pre-Linneaanse periode

De Renaissance (eind 14e tot 17e eeuw) markeerde een nieuw tijdperk voor de wetenschap. Europeanen verkenden en ontdekten Amerika, Afrika, Azië en Australië en brachten veel onbekende planten mee terug. Deze werden ondergebracht in een snel toenemend aantal tuinen, de eersten werden gecreëerd in Italië in het begin van de 16e eeuw. In het begin heetten ze medicinale tuinen, maar later, toen de interesse verschoof naar de studie van planten zelf in plaats van naar hun nuttige eigenschappen, veranderden ze in de botanische tuinen die we tegenwoordig nog kennen. Bovendien werd met de uitvinding van de drukpers (1450–1455) informatie gemakkelijker gedeeld en verspreid, wat de uitwisseling en discussies over wetenschappelijke kennis enorm stimuleerde. Mensen werden nieuwsgierig naar de wereld om hen heen. In de botanische tuin van Pisa vond de Italiaanse Luca Ghini (1490–1556) rond 1530 een revolutionaire methode uit om planten te conserveren door ze te drogen en te persen, zodat ze op elk moment van het jaar konden worden bestudeerd. De resulterende botanische exemplaren werden opgeslagen in boeken die bekend staan als een “hortus siccus” (gedroogde tuin), later werd de term “herbarium” gebruikt, en dat waren waardevolle bezittingen die alleen rijken zich konden veroorloven (Ghorbanie e.a. 2018; figuur 5).

Dit tijdperk werd gevolgd door dat van de grote West-Europese kruidboeken, die de planten en hun gebruik beschrijven. Deze werken werden niet langer alleen in het Latijn (de wetenschappelijke taal van die tijd) geproduceerd, maar ook in de gangbare talen Duits, Engels, Nederlands en Frans. Hierdoor werd de informatie over planten voor een nog breder publiek toegankelijk. De meest bekende kruidboeken uit deze periode zijn die van Dodoneus (*Cruydeboeck*, 1554; figuur 6), Fuchs (*New Kreüterbuch*, 1543) en Gerard (*Herball or Generall Historie of Plantes*, 1597). Vooruitgang in de kunst leidde ook tot tal van nieuwe plantillustraties. Deze waren veel beter dan die welke keer op keer uit de boeken van Dioscorides en Plinius waren gekopieerd, en waarmee de betreffende soort vaak nauwelijks kon worden afgeleid.

◁ *Figuur 5. Titelpagina van het Rauwolf herbarium 1573-1575, bewaard in Naturalis Biodiversity Center, Leiden.*



Een leerling van Ghini , Andrea Cesalpino (1519–1603), was de eerste die het werk van Theophrastus sinds de oude Grieken besprak. Hij wees erop dat planten op een meer natuurlijke en rationele manier moeten worden geassocieerd. Zijn *De Plantis Libri XVI* (1583) beschrijft 1.500 planten die hij in 32 groepen organiseerde, waaronder de Umbelliferae en Compositae die we nu nog onderscheiden. De wetenschap van de naamgeving van planten ontwikkelde zich snel en over het algemeen bestonden de plantennamen uit een combinatie van verschillende karakteristieke kenmerken. Bijvoorbeeld, de passiebloem (*Passiflora edulis*) heette *Flos passionis major* (grote passiebloem). Echter, met het snel toenemende aantal soorten dat van over de hele wereld arriveerde, waren er steeds meer kenmerken nodig om de ene soort van de andere te onderscheiden, wat resulteerde in steeds langere plantennamen. In een oude catalogus van de Hortus Botanicus in Leiden (Nederland), opgericht in 1592, heet dezelfde passiebloem *Cucumis Flos Passionis Dictus triphyllus flore Roseo clavato* (Komkommer of Passiebloem, driebladig, met roze bloemen en knotsvormig; dat laatste verwijst waarschijnlijk naar de vorm van de stijl). Kortom, de naam van een plant diende ook als een diagnostische samenvatting. In diezelfde tijd veranderde de plantkunde langzaam vanuit een onderdeel van de medische wetenschap naar een bredere eigen studie naar de toenemende rijkdom aan planten die vanuit de hele wereld in Europa aankwam. In 1623 publiceerde de Zwitserse Gaspard Bauhin zijn *“Pinax theatri botanici”* met niet minder dan 5.640 verschillende planten, wilde soorten maar

△ Figuur 6. Dodonaeus en twee pagina's uit zijn beroemde Cruydeboeck gedrukt in 1554.

ook veel gecultiveerde vormen. Later publiceerde de Britse botanicus John Ray zijn 3-delige “*Historia plantarum species*” (1686, 1688, 1704) met meer dan 17.000 verschillende ‘soorten’ (hij beschreef ook een zeer groot aantal cultivars, monstrositeiten en andere vormen). Dit innovatieve werk was het eerste dat eenzaadlobbigen onderscheidde van tweezaadlobbigen en dat op tekst gebaseerde dichotome sleutels (zie Hoofdstuk 4) gebruikte om planten te classificeren. In 1694 ontwikkelde de Fransman Joseph Pitton de Tournefort het concept van geslachten, wat aanzienlijk bijdroeg tot een betere structuring van de classificatie.

1.3 Linnaeus en zijn volgers

In de eerste helft van de 18e eeuw bracht de talentvolle jonge Zweedse botanicus Carl von Linné (figuur 7), of Linnaeus in het Latijn, orde in de chaos. Tijdens zijn werk in Nederland ontmoette hij beroemde professoren zoals Hermann Boerhaave, Adriaan van Royen en Johannes Burmann, met wie hij verschillende van zijn nieuwe ideeën besprak.

Ten eerste creëerde hij een duidelijk classificatiesysteem van planten op basis van het aantal meeldraden en stijlen in elke bloem en noemde het zijn ‘sexuele systeem’ (figuur 8). Hij herkende vijf taxonomische niveaus, de variëteit, de soort, het geslacht, de orde (± gelijk aan onze huidige familie) en de klasse.

▽ *Figuur 7.*
Carolus Linnaeus.

Dit eenvoudige systeem werkte, hoewel het een paar gebreken vertoonde, opmerkelijk goed bij het creëren van structuur.

▷ *Figuur 8. Linnaeus’ sexuele systeem om planten te classificeren.*

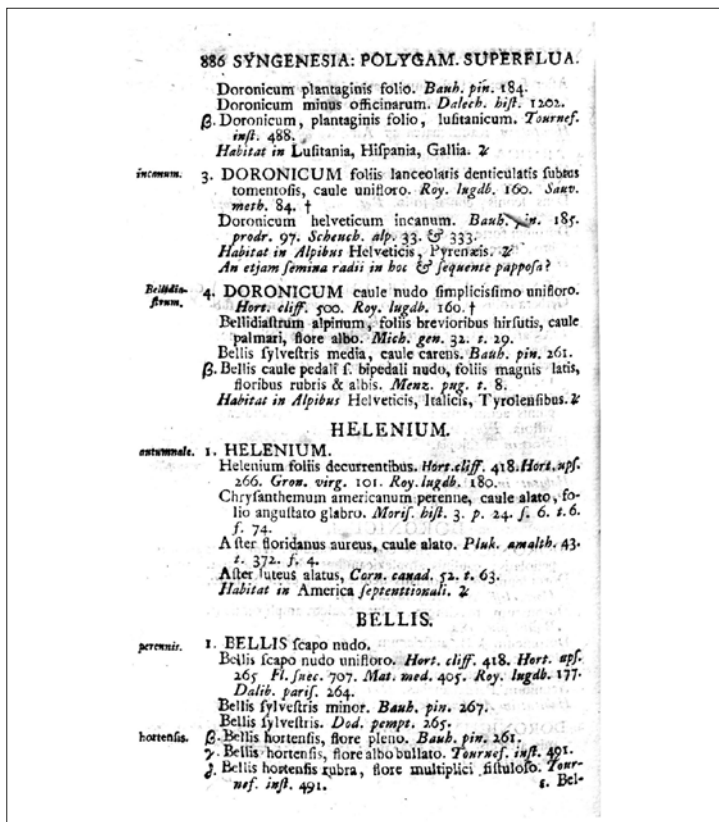
Ten tweede stelde hij voor om de naam van een plant te scheiden van de beschrijving. In zijn beroemde *Species plantarum*, gepubliceerd in 1753,



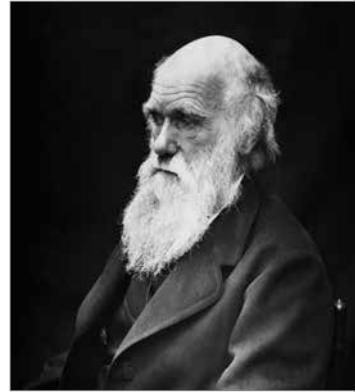
schreef hij wat hij noemde 'triviale namen', één enkel woord, in de marge van elke soortbehandeling (figuur 9). Dat woord, voorafgegaan door de naam van het geslacht, leverde dan een soortnaam die uit slechts twee woorden bestond. Het was het begin van de binomiale (twee-woorden) nomenclatuur (naamgeving) die we nog steeds gebruiken. Het is een systeem waarbij een soortnaam is samengesteld uit de geslachtsnaam gevolgd door een woord dat de soort aanduidt, het zogeheten epitheton. Al snel waardeerden andere botanici de eenvoud en genialiteit van het nieuwe naamgevingssysteem en namen het over in hun eigen werk. Kort na het succes van zijn *Species plantarum* introduceerde Linnaeus, ook een fervent zoöloog, hetzelfde systeem voor dieren in zijn beroemde *Systema naturae* (1758).

Linnaeus reisde naar Engeland om Sir Hans Sloane en Johann Jacob Dillenius te ontmoeten, die aanvankelijk allebei sceptisch waren over zijn nieuwe naamgevings- en classificatie-ideeën, maar ze kwamen na enkele jaren tot inkeer. In Parijs ontmoette hij Bernard de Jussieu, die

▽ *Figuur 9. Pagina uit Linnaeus' beroemde Species plantarum, met zijn 'triviale namen' in de kantlijn.*



▷ *Figuur 10.*
Charles Darwin.



kort daarna samen met zijn neef Antoine Laurent de Jussieu hun *Genera plantarum* zou publiceren. In dat werk stelden ze dat een soort, geslacht of een andere eenheid in de hiërarchische classificatie, planten zou moeten groeperen die een constant kenmerk binnen de gegeven eenheid vertonen, in tegenstelling tot de waargenomen kenmerkvariabiliteit tussen eenheden. Zo'n eenheid noemen we nu een **taxon** (meervoud taxa). Aangezien niet alle kenmerken op hetzelfde niveau van de classificatie bruikbaar zijn, leidde hun ondergeschiktheidsbeginsel tot een kenmerk-hiërarchie: in een classificatie zouden kenmerken met een grote variabiliteit minder gewicht moeten krijgen dan de meer constante kenmerken.

In deze periode hadden classificatie en het bestuderen van de natuur ook een religieuze implicatie. Biologen werden gezien als wetenschappers die de levende dingen bestudeerden die God had geschapen en op aarde geplaatst. Linnaeus, in zijn inleiding tot zijn *Species plantarum*, schreef: "In zijn almachtige alwetendheid, heeft God het theater van alle levende wezens op aarde geschapen, en het is onze goddelijke taak om die grote schepping te verkennen, die ons als smakelijke traktaties wordt voorgeschoteld, onwaardig als wij zijn, en om Zijn hand daarin te herkennen" [vrij vertaald uit het Latijn]. Men kan zich voorstellen dat, toen Darwin zijn nieuwe idee introduceerde en redeneerde dat soorten niet door de Almachtige God zijn geschapen, maar over een zeer lange periode vanuit anderen soorten zijn geëvolueerd, dit een enorme impact had op de bredere samenleving.

1.4 Evolutionair denken doet haar intrede

Aan het begin van de 19e eeuw rezen er nieuwe vragen bij de taxonomen. Ze waren niet alleen geïnteresseerd in het benoemen, beschrijven en classificeren van organismen, maar ook in de oorsprong van de waargenomen diversiteit. In 1809, in zijn *Philosophie zoölogie*, stelde de zoöloog Jean-Baptiste de Lamarck een theorie voor waarin soorten konden evolueren en veranderen in de tijd.

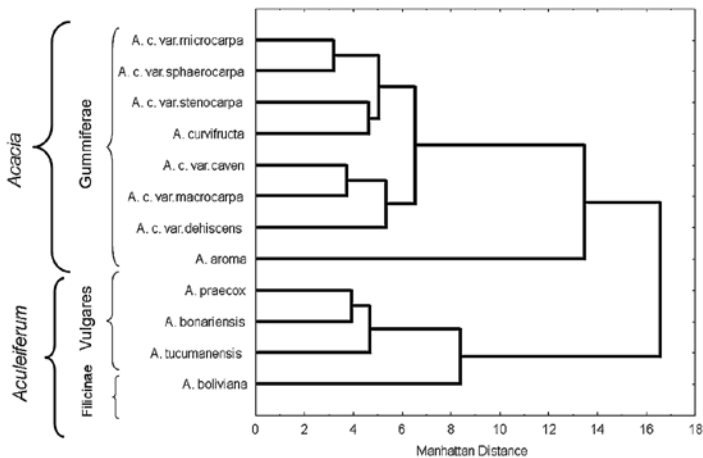
Het duurde nog eens 50 jaar voordat Charles Darwin (1809–1882; figuur 10) zijn beroemde theorie over evolutie en overleving van de sterksten publiceerde in *On the Origin of Species* (1859). Onafhankelijk daarvan was Alfred Russel Wallace (1823–1913) tijdens zijn werk in Azië tot dezelfde conclusie gekomen. [In feite werd de theorie al in 1858 gepubliceerd in een artikel geschreven door Darwin en Wallace in het *Journal of the Proceedings of the*

Linnean Society: Zoology.] Darwin introduceerde het centrale concept van afstamming met modificatie, dat later uitgebreide steun kreeg en nu nog steeds algemeen geaccepteerd is. Het concept van evolutie had een grote impact op de ontwikkeling van de theorie achter het classificeren van de natuur, en dus op het werkveld van de taxonomie. Biologen begrepen dat, aangezien de geschiedenis van het leven uniek is, de enige natuurlijke classificatie die is welke de unieke levensboom, de fylogenie, weerspiegelt. Het woord 'fylogenie' werd niet bedacht door Darwin, maar door Ernst Haeckel (1834–1919) in 1866 in *Generelle Morphologie der Organismen*. Darwin voorspelde al dat "onze classificaties, voor zover mogelijk, genealogieën zullen worden" (Darwin 1859, p. 486). Deze nieuwe theorie impliceerde ook dat juist die kenmerken die werden overgeërfd van een gemeenschappelijke voorouder nuttig zijn voor de taxonomie. Darwin gaf echter geen nieuwe technieken of benaderingen aan, waarmee de fylogenetische boom voor een bepaalde groep taxa te reconstrueren zou zijn, om zo praktiserende taxonomen bij te staan in hun werk.

1.5 Fenetica, cladistiek en fylogenetica

Begin jaren zestig ontstond er een nieuwe techniek, genaamd 'numerieke taxonomie', om een boomachtig resultaat, of **fenogram**, te produceren (figuur 11), waarop men vervolgens een classificatie kon baseren. Met name het werk van Sokal & Sneath (1963 en latere edities), *Principles of numerical taxonomy*, legde de basis. De techniek, ook wel **fenetica** genoemd, was gebaseerd op een kwantitatieve clusteranalyse van de algehele gelijkijns tussen taxa. Het maakte gebruik van een kenmerk-versus-taxa datamatrix – met een mix van binaire kenmerken (b.v. steunblaadjes aanwezig, ja/nee), multi-state

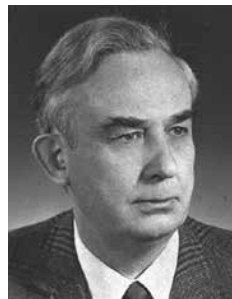
▽ *Figuur 11. Voorbeeld van een fenogram, met een maat voor de similariteit (Manhattan Distance) langs de x-as (uit Pometti et al. 2007).*



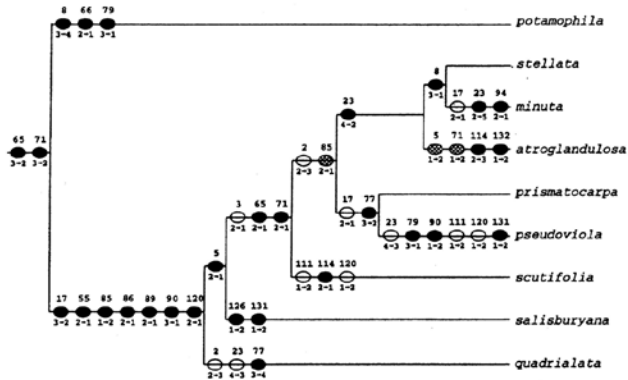
kenmerken (b.v. bloemkleur, met de toestanden 1 = wit, 2 = geel, 3 = blauw) of continue kenmerken (b.v. kelklengte in mm) – en resulterend in paarsgewijze afstanden tussen de taxa, OTU's genaamd (Operational Taxonomic Units). Het werd echter al snel duidelijk dat algehele gelijkenis niet noodzakelijkerwijs duidt op een evolutionaire relatie. Soorten hebben bijvoorbeeld vergelijkbare kenmerken ontwikkeld omdat ze zich hebben aangepast aan dezelfde omgevingsstress. Aangezien deze methode niet gebaseerd was op de evolutietheorie, kon deze de waargenomen variatie niet interpreteren in een evolutionaire context met voorouders en afstammelingen of zelfs veranderingen in de kenmerktoestanden. Ondanks het feit dat de fenetica boomachtige fenogrammen produceerde, toonden die geen natuurlijke en evolutionaire classificatie. Desalniettemin bloeide deze methodiek een tijdje op en profiteerde enorm van de snelle vooruitgang in de informatica.

Het was de Duitse zoöloog Willi Hennig (1913–1976; figuur 12) die de manier waarop biologen de evolutie van een taxonomische groep probeerde te reconstrueren fundamenteel veranderde. In 1960 publiceerde hij zijn theorie in *Grundzüge einer Theorie der Phylogenetischen Systematik*, maar dit werk bleef relatief onbekend tot in 1966 de Engelse vertaling *Phylogenetic Systematics* werd uitgegeven. Hennig's primaire uitgangspunt was om een onderscheid te maken tussen **primitieve kenmerktoestanden** en degene die daarvan zijn afgeleid. Alleen het hebben van gemeenschappelijke **afgeleide kenmerktoestanden**, **apomorfiën** genoemd, duidt dan op een gemeenschappelijke afkomst, terwijl primitieve, **plesiomorfiën** genoemd, dat niet doen. Een groep die is afgeleid van één enkele gemeenschappelijke voorouder wordt een **clade** genoemd en de theorie erachter de **cladistiek**.

Het resultaat van een cladistische analyse is een boomachtige figuur, het **cladogram** (figuur 13), waarbij de takken in feite één of meer veranderingen van de kenmerktoestanden vertegenwoordigen. Wanneer bijvoorbeeld bij een groep planten met rode bloemen een evolutionaire verandering leidde tot blauwe bloemen, dan is



△ Figuur 12.
Willi Hennig.



Cladogram of the *B. potamophila* group. Only more important characters (those receiving a weight of 1 or more with the 'cocode' command) are depicted; black = apomorphy, open = parallelism, hatched = reversal.

△ Figuur 13. Voorbeeld van een cladogram, met genummerde kenmerken waarin men apomorfiën (zwarte stippen), parallelismen (open stippen) en omkeringen (gearceerde stippen) kan herkennen, evenals de verandering van kenmerktostanden (onder elke stip).

'blauw' de afgeleide toestand van het kenmerk 'bloemkleur' en elke soort met die toestand is waarschijnlijk geëvolueerd uit dezelfde gemeenschappelijke voorouder. Het hebben van een rode bloem duidt niet op een dergelijke gemeenschappelijke afkomst en kan daarom niet dienen als criterium waarop een taxonomische groep kan worden gedefinieerd. Wanneer verder terug in de evolutionaire geschiedenis blijkt dat een rode kleur is afgeleid van witte bloemen, dan kan rood nog steeds worden beschouwd als een afgeleide kenmerktostand, maar op een ander niveau in de fylogenie. En van wit naar blauw gaan vereist dan twee evolutionaire stappen in plaats van één. Wanneer een afgeleide toestand weer terug naar de primitieve toestand evolueert, wordt dit een **omkering** genoemd, terwijl de onafhankelijke ontwikkeling van dezelfde kenmerktostand in twee of meer verschillende takken van de evolutionaire boom een **parallelisme** wordt genoemd.

Bovendien voerde Hennig aan dat elke taxonomische beslissing, van een soortdefinitie tot een hoger classificatiesysteem, behandeld moest worden als een voorlopige hypothese, die getest kan worden met nieuwe gegevens of door andere methoden toe te passen. Er zijn verschillende algoritmen ontwikkeld waarmee een cladogram kan worden opgebouwd uit een kenmerk-versus-taxon datamatrix (zie ook figuur 18) en de methode profiteerde van de snelle toename van de reken capaciteit van computers en de ontwikkeling van

de bio-informatica. Nieuwe onderzoeksgebieden, zoals cytologie en chemotaxonomie, leverden extra kenmerkensets op. De algoritmen waren bedoeld om het cladogram te vinden dat het minste aantal evolutionaire veranderingen (of stappen) nodig heeft om de data te verklaren. Het argument daarbij is dat het cladogram dat het minste aantal veranderingen (of evolutionaire hypothesen) nodig heeft, de meest waarschijnlijke fylogenie vertegenwoordigt. Dit idee van de 'goedkoopste' boom werd het **spaarzaamheidsbeginsel** genoemd. De kortste boom is dan dus de meest spaarzame.

In deze nieuwe setting was men van mening dat een nieuwe definitie van dit biologische onderzoeksveld nodig was en werd de term 'systematische biologie' of simpelweg 'systematiek' bedacht (Michener et al. 1970). Het omvat het hele veld van het beschrijven, benoemen, classificeren, bestuderen van distributiepatronen (biogeografie), evolutionaire relaties, kenmerkevolutie en aanpassingen. De term 'taxonomie' werd toen beperkt tot het veld van beschrijven, benoemen en classificeren. Sommigen beschouwen deze twee woorden echter als volledig synoniem.

De ontdekking, in 1953, van de dubbele helixstructuur van het DNA-molecuul door James Watson en Francis Crick heeft ons begrip van de evolutionaire processen aanzienlijk verbeterd. Maar pas nadat het mogelijk werd om specifieke fragmenten van het genoom (nucleair, mitochondriaal of chloroplast-DNA) te herkennen en het DNA selectief te vermeerderen (amplificeren) via de polymerase-kettingreactie (PCR; Karry Mullis 1986), kreeg het een grote impact op de taxonomie en classificatie. De introductie van DNA-sequentiegegevens (Meier 2008) gaf toegang tot een groot aantal nieuwe kenmerken en statistische benaderingen. Daarmee leidde, aan het begin van de 21e eeuw, het gebruik van moleculaire gegevens en nieuwe algoritmen voor het bouwen van bomen, zoals **Maximum Likelihood** en **Bayesiaanse statistiek**, tot een duidelijke verbetering van ons vermogen om fylogenetische hypothesen te produceren. De 'sterkte' of betrouwbaarheid van elke tak in een cladogram kan worden beoordeeld met behulp van andere technieken zoals **bootstrapping** (een statistische herbemonsterings-techniek; Holmes 2003) en, opnieuw, Bayesiaanse statistiek. Al deze ontwikkelingen hebben geleid tot een beduidend beter inzicht in de afbakening van ordes en families van bloemplanten (Angiosperm Phylogeny Group 2016), evenals een beter begrip van de classificatie op basis van evolutionaire relaties.

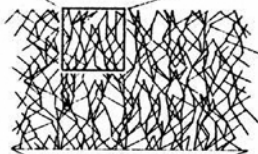
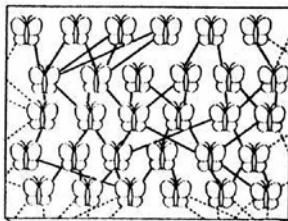
1.6 Over natuurlijke groepen, monofylie, parafylie en polyfylie

Uit het bovenstaande volgt logischerwijs dat het classificeren van de natuurlijke wereld in soorten, geslachten en hogere eenheden een zoektocht is geworden naar onze beste hypothese over de structuur van de evolutionaire boom, zodat we natuurlijke eenheden kunnen onderscheiden. Met andere woorden, het cladogram dat door één van de verschillende analyses wordt geproduceerd, moet in natuurlijke eenheden, de taxa, worden opgesplitst. Er zijn echter veel manieren om dit te doen en dit vereist weloverwogen keuzes.

Ten eerste moeten we begrijpen dat een cladogram geen fylogenetische boom is, maar een schematische weergave van de data, die veranderingen in de kenmerktoestanden (morfologisch, chemisch of genetisch) op haar takken laat zien (figuur 13). Omdat we in de systematiek niet proberen kenmerken te classificeren, maar eerder individuen of soorten (of taxa), moeten we zo'n cladogram transformeren tot een echte fylogenetische boom, die de voorouder-afstammingsrelaties tussen individuen of populaties of soorten laat zien. In een fylogenetische boom vertegenwoordigen de takken wél deze evolutionaire relaties tussen de eenheden die betrokken zijn bij het evolutieproces (zie figuur 14) en daarom kan die wél worden gebruikt om er een classificatie van af te leiden.

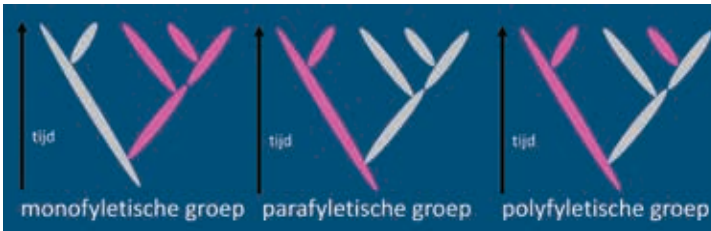
Ten tweede moeten we begrijpen dat in ons systeem van nomenclatuur-regels het zo is dat sommige categorieën verplicht zijn. Alle soorten behoren tot ten minste een geslacht en elk geslacht (genus) behoort tot een familie. En ook, dat wanneer we b.v. een ondergeslacht creëren om een aantal van de soorten binnen een genus in onder te brengen, we verplicht zijn om één of meer andere ondergeslachten te definiëren om de resterende soorten in onder te brengen (zie ook hoofdstuk 3). We moeten hier rekening mee houden bij het

toepassen van regels om een fylogenetische boom te verdelen in taxonomische eenheden die een formele naam dragen.



De meeste taxonomen zullen u vertellen dat een classificatie alleen natuurlijk kan zijn als deze uitsluitend bestaat uit zogenaamde monofyletische eenheden; dat is een groep van soorten die een voorouderlijke soort omvat en alle soorten die evolutionair zijn afgeleid van die voorouder (figuur 15), ook wel de meest recente gemeenschappelijke voorouder (Most Recent Common Ancestor, MRCA) genoemd. [Opmerking: ook één enkele soort kan een 'groep' vertegenwoordigen]

◁ Figuur 14. Aard van de takken van een fylogenetische boom, met voorouder-afstammingsrelaties tussen individuele organismen.



△ *Figuur 15. Fylogenetische boom die de betekenis van monofylie, parafylie en polyfylie illustreert (verdere uitleg zie tekst).*

gen die dan uit één enkel element bestaat.] Als sommige, *maar niet alle* soorten die zijn afgeleid van de meest recente gemeenschappelijke voorouder worden samengenomen, dan wordt die groep parafyletisch genoemd (figuur 15). Het probleem is dat, hoewel wiskundig gezien een cladogram, met taxa die alleen aan de uiteinden zijn weergegeven (zie figuur 13), volledig in monofyletische groepen zou kunnen worden opgehakt (de knooppunten van het cladogram zouden de kenmerkverdeling van de potentiële voorouders vertegenwoordigen), dit onmogelijk wordt wanneer we uitgaan van een fylogenetische boom. Elke keer dat een nieuwe soort zich afsplitst van zijn voorouderlijke soort, kan zij een nieuwe monofyletische groep starten, maar zal zij altijd een parafyletische rest achterlaten (Brummitt 2002, Sosef 1997, Horandl 2006, Podani 2010). Velen geven er de voorkeur aan alleen de 'mooier ogende' monofyletische groepen te onderscheiden, maar weinigen lijken te beseffen dat ze onbewust de keuze maken om hun classificatie te baseren op een cladogram in plaats van op een fylogenetische boom. Bijgevolg is een dergelijke strikte monofyletische classificatie niet alleen minder natuurlijk dan één die parafylie toelaat, maar kan die vaak niet omgaan met het nu nog in de natuur aanwezig zijn van voorouderlijke soorten, of met recent uitgestorven soorten en fossielen. Een voorbeeld van de laatste zijn de sabeltantijger of de mammoet. Deze soorten vertegenwoordigen het parafyletische restant van waaruit bestaande soorten zich hebben ontwikkeld, en leiden dus onvermijdelijk tot niet-monofylie in de classificatie. Eén enkele soort kan ofwel monofyletisch zijn (wanneer het alle individuen omvat die afstammen van één enkele voorouderlijke oorsprong) ofwel parafyletisch (wanneer er een nieuwe soort van is afgesplitst) en het is daarom wiskundig onmogelijk om een strikt monofyletische classificatie met dergelijke componenten op te bouwen. Sommigen probeerden deze 'ongewenste' situatie te omzeilen door een conventie voor te stellen, waarin we zouden afspreken dat alle soorten per definitie monofyletisch zijn, duidelijk een theoretische gruwel. Op een gegeven moment werd een revolutionair nieuw concept ontwikkeld om namen aan taxa te geven, de PhyloCode (de Queiroz 2006), waarbij het idee van verplichte taxonniveaus, zoals geslacht of familie (behalve soorten), overboord werd gegooid. Dit betekent dat in dat geval sommige soorten wel tot een geslacht behoren, maar andere niet en bijvoorbeeld alleen tot een familie. Theoretisch is het waarschijnlijk een beter

nomenclatuurstelsel, dat ook een strikt monofyletische classificatie mogelijk zou maken, maar pragmatisch wilden systematici het Linneaanse binomiale systeem niet weggooien en zo'n rigoreus nieuw systeem omarmen.

Ten slotte is een polyfyletische eenheid een groep van soorten waarbij de meest recente gemeenschappelijke voorouder tot een andere groep behoort, of waar de leden uit meer dan één zo'n MRCA zijn voortgekomen (zie figuur 15). Toen dergelijke groepen in het verleden werden gedefinieerd als taxonomische entiteiten, was dit waarschijnlijk te wijten aan soorten die één of meer plesiomorfe kenmerken gemeen hadden, of één of meer kenmerken die niet van een gemeenschappelijke voorouder waren overgeërfd. Zo kunnen niet-verwante soorten die b.v. in een woestijn leven, onafhankelijk van elkaar beharing ontwikkelen om ze te beschermen tegen uitdroging. Dergelijke resultaten van parallelle of convergente evolutie worden homoplasieën genoemd, d.w.z. dat een homoplasieus kenmerk er hetzelfde uitziet, maar een andere evolutionaire oorsprong heeft. We zijn het er allemaal over eens dat dergelijke groepen niet natuurlijk zijn en uit een classificatie moeten worden verwijderd.

Nadat je hebt besloten welke regels je wilt volgen om een fylogenetische boom (of een cladogram) in taxa op te splitsen, zijn er nog steeds veel keuzes die je kunt maken en die het proces van classificatie en naamgeving van taxa gedeeltelijk subjectief maakt. "Welk deel van de boom zal ik herkennen als een geslacht?" "Of zou je het beter een onderklasse kunnen noemen?" etc., zijn reële vragen die je moet beantwoorden. Het maken van een keuze die de minste verstoring in het bestaande systeem van namen veroorzaakt, en daarmee dus grotere stabiliteit van de namen garandeert, is ook een geldig argument.

Algemene literatuur over systematiek

- Spichiger R-E., Figeat M., Jeanmonod D. (2016) Botanique systématique avec une introduction aux grands groupes de champignons. 4^{ème} édition. Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. ISBN 978.2889151349
- Stace C.A. (1991) Plant Taxonomy and Biosystematics, 2nd ed.. London, Edward Arnold. ISBN 071.3129557
- Stuessy T.F. (2002) Plant taxonomy, the systematic evaluation of comparative data. M/s Bishen Singh Mahendra Pal Singh. ISBN 978-8121102841
- Stuessy T.F., Crawford D.J., Soltis D.E., Soltis P.L. (2015) Plant Systematics. The Origin, Interpretation, and Ordering of Plant Biodiversity. ISBN 978-3874294522

2.

Soortconcepten



2.1 Wat is een soort?

Biologen zijn het er meestal over eens dat de soort een fundamentele natuurlijke eenheid is. Het is echter ongelooflijk moeilijk gebleken om te definiëren wat een soort precies is! Deze controverser is niet zozeer een praktische als wel een theoretische en staat bekend als 'het soortprobleem'.

Eén van de meest fundamentele aspecten van het probleem is variatie. De meeste, zo niet alle, dier- en plantensoorten vertonen variatie, waarbij elk individu vaak aantoonbaar uniek is. Binnen een populatie kunnen variaties continu (b.v. lengte of gewicht) of discontinu (b.v. geslacht; met rechts of links draaiende kroonslippen) zijn, en van oorsprong ecologisch (b.v. bloemkleur die beïnvloed wordt door de samenstelling van de bodem) of genetisch (b.v. bloedgroep). Variatie tussen populaties kan ook gelieerd zijn aan een regio (geografische variatie). Zelfs wanneer twee individuen exact hetzelfde DNA hebben (klonen of tweelingen), kunnen ze onder invloed van omgevingsfactoren morfologische verschillen ontwikkelen; dit wordt **fenotypische plasticiteit** genoemd. Het soortprobleem is gedeeltelijk een geschiedenis van hoe biologen hebben geprobeerd met variatie om te gaan. Vaak wordt aanvaard dat soorten een natuurlijke eenheid vertegenwoordigen. De meest strijdige mening over dit idee is dat er in de natuur alleen individuen bestaan; taxonomische groepen, inclusief soorten, worden dan gezien als door mensen gemaakte abstracties, met het praktische doel grote aantallen individuen te kunnen groeperen. Weinig wetenschappers accepteren deze nominalistische benadering met betrekking tot soorten, maar velen geloven dat ze van toepassing is op hogere taxa (World Conservation Monitoring Centre 1992).

Er zijn meerdere definities en soortconcepten voorgesteld. Deze volgen meestal de discipline van de auteur: het taxonomisch soortconcept, het evolutionair soortconcept, het ecologisch soortconcept, het historisch soortconcept, en nog veel meer. Soortconcepten kunnen worden onderverdeeld in twee hoofdgroepen, die welke uitgaan van een proces (evolutie, kruisbaarheid) en die welke uitgaan van een patroon (morfologie, ecologische voorkeuren). Hieronder staan de drie meest bekende:

Het biologisch soortconcept. Dit concept definieert soorten in termen van kruisbaarheid. De grootste voorstander was ongetwijfeld Ernst Mayr, een ornitholoog. Hij definieerde soorten als “groepen van kruisende natuurlijke populaties die reproductief geïsoleerd zijn van andere dergelijke groepen”. Later verfiende hij deze tot “een populatie of een groep van populaties waarvan de leden de potentie hebben om in de natuur te kruisen en levensvatbare, vruchtbare nakomelingen voort te brengen, maar geen levensvatbare, vruchtbare nakomelingen voortbrengen met leden van andere dergelijke groepen”. Het blijft het meest wijdgeaccepteerde soortconcept van vandaag. Het verklaart waarom de leden van een soort op elkaar lijken en verschillen van andere soorten. De leden wisselen genetisch materiaal uit en geven het door aan hun nakomelingen, maar niet aan andere soorten. Het evolutieproces omvat willekeurige mutaties die binnen een genenpool blijven die één of andere vorm van isolatie heeft verworven. In de loop van de tijd zal deze genenpool zich door deze nieuwe verworvenheden gaan onderscheiden van andere vergelijkbare populaties. Ten slotte kunnen deze verschillen leiden tot reproductieve isolatie, waarbij de geïsoleerde genenpools als soort gaan functioneren.

Over het algemeen omarmen zoölogen dit soortconcept, maar het brengt enkele complicaties met zich mee voor planten. Hoewel hybriden bij dieren zeldzaam zijn, is het bij planten bekend dat veel soorten hybridiseren en dan ook vruchtbare nakomelingen produceren (Grant 1981, Stace et al. 2015). Alleen als dergelijke gebeurtenissen zeldzaam zijn en de nakomelingen minder levensvatbaar, kunnen de oudersoorten hun unieke genetische identiteit behouden en dus als afzonderlijke soorten worden getypeerd. Bovendien is het concept niet van toepassing op asexuele organismen, en het is dus voor planten die zich via apomixie voortplanten (ongeslachtelijk, via zaad) onmogelijk om op die basis een soort te definiëren.

Het morfologisch soortconcept. Dit concept definieert een soort vanuit haar unieke morfologie en wordt toegepast op zowel asexuele als seksuele organismen. Het kan worden toegepast wanneer informatie over de uitwisseling van genetisch materiaal ontbreekt, bijvoorbeeld wanneer alleen herbariumspecimens beschikbaar zijn. Onderzoekers kunnen het oneens zijn over welke kenmerken we moeten gebruiken om een bepaalde soort te onderscheiden, wat leidt tot subjectiviteit.

Het evolutionair soortconcept. Dit concept benadrukt het belang van een soort als een evolutionaire eenheid. Het definieert een soort als “een afstammingslijn van organismen die met elkaar kruisen, reproductief geïsoleerd zijn van andere afstammingslijnen, die een begin, een einde en een duidelijk evolutionair traject en historisch lot heeft” (Wiley 1978). Het is absoluut het minst praktische concept, maar omvat tijd als essentieel element.

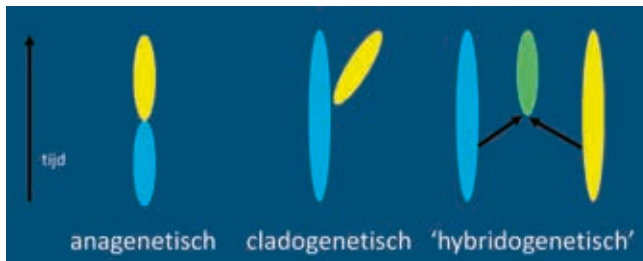
Welk concept een wetenschapper ook gebruikt om een soort te onderscheiden, de afbakening vertegenwoordigt feitelijk een hypothese over de relaties tussen de individuele organismen die tot de soort behoren. Een dergelijke hypothese over welke groep van individuen een soort vormt, kan worden getoetst met behulp van morfologische, genetische, gedrags- of andere eigenschappen.

2.2 Soortvorming

In een evolutionaire context, gebaseerd op progressieve verandering, zijn soorten variabel in de ruimte en zullen ze ook in de loop van de tijd veranderen. Dergelijke veranderingen kunnen uiteindelijk leiden tot de vorming van één of meer nieuwe soorten. Dit proces omvat over het algemeen twee processen: **isolatie**, waarbij één of meer individuen van een bestaande soort niet meer in staat zijn om te kruisen en daardoor geen genetisch materiaal meer kunnen uitwisselen met andere individuen van dezelfde soort. Het tweede is **divergentie**; dit omvat de opeenstapeling van willekeurige mutaties, geleidelijk of direct, waarbij de verwerving van nieuwe kenmerken ertoe kan leiden dat twee geïsoleerde entiteiten wezenlijk gaan verschillen en uiteindelijk als verschillende soorten zullen worden beschouwd. Beide processen kunnen elkaar beïnvloeden. Gedeeltelijke isolatie, waarbij in zeldzame gevallen nog steeds genetisch materiaal wordt uitgewisseld, kan de snelheid waarmee twee entiteiten divergeren verminderen. Evenzo kan divergentie zelf de isolatie van een populatie vergroten.

Figuur 16 toont drie mogelijke processen die tot soortvorming leiden. Het eenvoudigst te begrijpen is die in het midden, 'cladogenetische soortvorming', waarbij een deel van een bestaande soort (soms bestaande uit één enkel individu) geïsoleerd raakt. Denk b.v. aan een zaadje dat over een oceaan naar een afgelegen eiland wordt geblazen. Na aankomst zal het de grondlegger zijn van een nieuwe populatie, die geleidelijk willekeurige mutaties zal accumuleren en daardoor zal gaan afwijken van de voorouderlijke populaties op het vasteland. Merk op dat een dergelijk proces, ook wel 'knopvorming' genoemd, de aard van de vooroudersoort, die mogelijk blijft bestaan terwijl de nieuwe soort zich afscheidt, niet verandert. Het tweede proces is 'anagenetische soortvorming', links in figuur 16, waarbij een soort in de loop van de tijd langzaam willekeurige mutaties ophoopt en wezenlijk anders wordt dan zijn voorouderlijke populaties, waardoor hij als iets anders wordt herkend. In dit geval bestaat de 'isolatie' door een scheiding in tijd. Met name paleontologen, die met fossielen uit verschillende tijdframes werken, zullen dergelijke groepen individuen als verschillende

▽ Figuur 16. Soortvormingsprocessen (verdere uitleg zie tekst).



soorten willen definiëren. Ten slotte kunnen soorten onmiddellijk ontstaan door **hybridisatie** (rechts in figuur 16), vooral wanneer het wordt gevolgd door duplicatie van het genoom, wat resulteert in polyploïde organismen die niet kunnen terugkruisen met leden van de voorouderpopulaties. Dit laatste soortvormingsmechanisme is zeldzaam bij dieren, maar komt vrij vaak voor bij planten (Grant 1981, Soltis & Soltis 2009).

Het soortvormingsproces is nauw verbonden met de aanwezigheid van mechanismen voor reproductieve isolatie die kruising voorkomen. Hieronder volgt een overzicht van dergelijke mechanismen bij planten, verdeeld in twee groepen: isolatiemechanismen die werken vóórdat bestuiving heeft plaatsgevonden, en zij die werken ná de bestuiving.

1) *Isolatiemechanismen vóór bestuiving:*

- a) *Geografisch isolatie.* Individuen komen voor in verschillende geografische gebieden, gescheiden door een barrière die niet kan worden genomen door stuifmeel, zaad of sporen.
- b) *Temporele isolatie.* Stuifmeel kan stempel van andere individuen niet bereiken, omdat ze op verschillende tijdstippen van de dag of in verschillende seizoenen bloeien.
- c) *Ecologische isolatie.* Individuen van verschillende populaties hebben een andere ecologische voorkeur en leven in verschillende habitats. Door de fysieke afstand wordt stuifmeel niet overgedragen tussen populaties.
- d) *Gedragisolatie.* Verwante soorten kunnen verschillende dieren als bestuiver aantrekken.
- e) *Mechanische isolatie.* Fysieke niet-overeenstemming van bloemdelen verhindert de overdracht van stuifmeel naar de stijl, zoals b.v. bij heterostylie.

2) *Isolatiemechanismen ná bestuiving:*

- a) *Gametische incompatibiliteit.* Stuifmeel bereikt de stijl, maar ontkiemt niet of de pollenbuis bereikt de eicellen niet.
- b) *Zygotische mortaliteit.* De pollenkern bereikt de eicel, maar de zygote ontwikkelt zich niet.
- c) *Hybride verzwakking.* Een hybride embryo of plant wordt gevormd, maar heeft een verminderde levensvatbaarheid.
- d) *Hybride sterilititeit.* De hybride plant is levensvatbaar, maar is steriel en produceert geen zaden.
- e) *Hybride instorting.* Hybriden van de eerste generatie (F1) zijn levensvatbaar en vruchtbaar, maar verdere hybride generaties (F2 en terugkruisingen) zijn minder levensvatbaar of steriel.

2.3 Infraspecifieke taxa

Evolutie is over het algemeen een vrij langzaam proces (afgezien van enkele situaties waarbij hybridisatie betrokken is). Het kan duizenden jaren duren

voordat een geïsoleerde populatie zich uiteindelijk zal hebben ontwikkeld tot een aparte soort. Sommige DNA-mutaties kunnen verschijnen, maar daarna weer verdwijnen, terwijl andere in de populatie blijven bestaan, hoewel ze niet noodzakelijk tot een fenotypische differentiatie leiden. Als gevolg daarvan zullen we, wanneer we de levende wereld observeren, variatie op vele niveaus zien die ontstaan is door verschillende processen. We zijn wellicht getuige van een momentopname in het proces van soortvorming en kijken naar een soort in wording. In sommige gevallen, wanneer het patroon van variatie discontinu is, voelen we mogelijk de behoefte dat patroon vast te leggen in verschillende infraspécifieke taxa. Terwijl zoölogen alleen het infraspécifieke niveau van ondersoorten herkennen, kunnen we bij planten en schimmels ondersoorten, variëteiten en vormen (*formae*) formeel onderscheiden.

Een **ondersoort** wordt gedefinieerd als een deel van een soort (één of meer populaties) dat morfologisch of genetisch verschillend is en in het algemeen ook voorkomt in een apart geografisch gebied.

Een **variëteit** wordt gedefinieerd als een deel van een soort (één of meer populaties) dat morfologisch of genetisch verschillend is, maar welke over het algemeen wordt aangetroffen binnen het verspreidingsgebied van de soort als geheel. Het bezet vaak wel een andere habitat en is dan dus ecologisch verschillend.

Een **vorm** (*forma*) wordt gedefinieerd als een deel van een soort dat morfologisch of genetisch verschillend is, maar een mutatie vertegenwoordigt die sporadisch voorkomt binnen individuele populaties.

Soortconcepten

- Mayr E. (1982) *The Growth of Biological Thought*. Cambridge (MA), Harvard University Press. ISBN 978-0-674-36445-5.
- Pavlinov I., editor (2013) *The Species Problem. Ongoing Issues*. DOI: 10.5772/3313. ISBN 978-953-51-0957-0. <https://www.intechopen.com/books/the-species-problem-ongoing-issues>
- Reydon T.A.C., Kunz W. (2019) Species as natural entities, instrumental units and ranked taxa: new perspectives on the grouping and ranking problems. *Biological Journal of the Linnean Society* 126: 623–636. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blz013>
- Rieseberg L.H., Wood T.E., Baack E.J. (2006) The nature of plant species. *Nature* 440: 524–527. doi:10.1038/nature04402.

3.

**De regels van
de botanische naamgeving**



Zodra de kenmerkvariatie binnen een groep is bestudeerd en er conclusies zijn getrokken over welke entiteiten of taxa moeten worden onderscheiden, rijst de vraag wat de juiste namen voor deze entiteiten zouden moeten zijn. Dat is waar men het rijk van de botanische nomenclatuur betreedt.

3.1 ICN: het wetboek

Na 1753, toen Linnaeus zijn binominaal systeem introduceerde (zie par. 1.3), werden er slechts enkele elementaire regels voor de naamgeving van planten ontwikkeld. Later, in 1813, stelde Augustin de Candolle, in zijn *Théorie élémentaire de la Botanique*, een gedetailleerde set regels op met betrekking tot de nomenclatuur van planten. Na verloop van tijd werd echter duidelijk dat een internationaal geaccepteerde regelgeving voor de naamgeving van planten noodzakelijk was. Het was Alphonse de Candolle, zoon van Augustin de Candolle, die een vergadering van botanici uit verschillende landen bijeenriep om nieuwe nomenclatuurregels te ontwikkelen. In 1867 organiseerde hij het Eerste Internationale Botanische Congres (IBC) in Parijs, wat leidde tot de publicatie van de zogenaamde Paris Code. Daaropvolgende vergaderingen van de IBC vonden plaats in 1892 (Rochester Code), 1905 (Vienna Code), 1907 (American Code) en 1912 (Brussels Code). Een algemene overeenkomst over internationaal aanvaardbare regels voor de nomenclatuur van planten werd echter pas in 1930 bereikt tijdens de IBC-bijeenkomst in Cambridge. Hier ontstond voor het eerst in de botanische geschiedenis een Code voor de nomenclatuur, die zowel qua functie als naam internationaal was: de **International Code of Botanical Nomenclature (ICBN)**. Tegenwoordig bestaat deze uit een aantal Principes, Regels en Aanbevelingen, uiteengezet in 61 Artikelen, evenals de Bepalingen voor het beheer van de Code. Het lijkt dus veel op een wetboek. Sinds 1930 zijn er vele herzieningen van de ICBN geproduceerd. In 2011 werd de naam gewijzigd in "**International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (ICN)**". Het omvat ook de namen voor fossielen van deze groepen (zie Turland *et al.* 2018).

Voorstellen tot wijziging van de Code worden gepubliceerd in het tijdschrift *Taxon*. Om de 6 jaar, aan het begin van het Internationale Botanische Congres, tijdens de 'Nomenclatuur Sessie' die een volle week kan duren, komen taxonomen van over de hele wereld bijeen om alle voorstellen te bespreken die tijdens de periode tussen de conferenties zijn gepubliceerd. Elk instituut heeft een aantal stemmen, afhankelijk van het aantal onderzoekers. In wezen worden wijzigingen in de regels van de botanische nomenclatuur dus tot stand gebracht via een democratisch proces.

Hieronder worden de belangrijkste nomenclatuur-regels uiteengezet. Voor meer gedetailleerde of complexere gevallen moet altijd de laatste versie van de Code worden geraadpleegd. Hoewel de Code mogelijk in verschillende andere talen is vertaald, geldt de Engelse versie als de enige officiële.

3.2 Van koninkrijk tot ondervorm, verplichte categorieën

Elke taxonomische groep, of het nu een familie, soort of variëteit is, wordt een 'taxon' (meervoud 'taxa') genoemd. Namen van taxa boven de rang van de soort bestaan uit één woord en die van Ondertribus en hoger hebben een specifieke uitgang. Slechts enkele taxon-rangen zijn verplicht. Hieronder staat een lijst met de meest gebruikte rangen in planten, algen en schimmels, met hun specifieke uitgang. Verplichte rangen zijn **vetgedrukt**.

RANG	PLANTEN	ALGEN	SCHIMMELS
Rijk/Regnum	-tae		
Divisie/Phylum	-phyta		-mycota
Onderdivisie/Subphylum	-phytina		-mycotina
Klasse	-opsida	-phyceae	-mycetes
Subklasse	-idae	-phycidae	-mycetidae
Superorde	-anae		
Orde	-ales		
Onderorde	-ineae		
Superfamilie	-acea		
Familie	-aceae		
Onderfamilie	-oideae		
Tribus	-eae		
Ondertribus	-inae		

Onder het niveau van Ondertribus hebben taxon-namen geen specifieke uitgang. De belangrijkste zijn (verplichte **vetgedrukt**):

Supergeslacht
Geslacht
 Ondergeslacht
 Sectie
Soort
 Ondersoort
 Variëteit
 Ondervariëteit
 Vorm
 Ondervorm

De namen van niet-verplichte taxa bestaan uit één woord dat volgt op de eerstvolgende verplichte naam erboven. De naam van een soort is altijd samengesteld uit de geslachtsnaam plus de soortaanduiding, dus een tweede woord, het **epitheton**. De naam van een infraspecifiek taxon bestaat ook uit één woord. De soortnaam en alle infraspecifieke namen beginnen altijd met een kleine letter, die van rangen boven soorten beginnen met een hoofdletter. Een paar voorbeelden:

Amanita subgen . *Amanitopsis*

Begonia sect. *Scutobegonia*

Poaceae tribu *Andropogoneae*

Monotes rubriglans subsp. *upembensis*

Chlorophytum gallabatense var. *micranthum*

3.3 Het typeconcept

Namen van taxa met een rang boven de familie kunnen ofwel worden bepaald door de naam van een erin opgenomen geslacht (bijvoorbeeld de Orde Asparagales is afgeleid van de geslachtsnaam *Asparagus*), ofwel een beschrijvende naam zijn (zoals Divisie Spermatophyta [=Zaadplanten]). Namen van taxa op het niveau van familie of lager worden echter bepaald door middel van nomenclatorische typen. Een nomenclatorisch type is het element waarmee een naam permanent verbonden blijft, of die naam een nu geaccepteerde naam is of een synoniem van een andere naam doet er niet toe.

Het type van de naam van een soort of infraspecifiek taxon is meestal één enkel exemplaar geconserveerd in een herbarium, of soms een illustratie. Het type van de naam van een geslacht (of van een onderverdeling van een geslacht) is het type van de naam van de type-soort (de eerste soort ooit beschreven in het geslacht of als zodanig aangeduid door de auteur van het geslacht). Het type van de naam van een familie (of van een onderverdeling van een familie) is hetzelfde als dat van de geslachtsnaam waaruit het is gevormd. Bedenk dat hierdoor het nomenclatorische type niet noodzakelijk het meest typische of meest representatieve element van een taxon is! Meer over typen staat in paragraaf 3.5 hieronder.

3.4 Geldige en effectieve publicatie

De oorspronkelijke (eerste) publicatie van een naam wordt de **protoloog** genoemd. Om formeel geaccepteerd te worden als een nieuwe naam onder de regels van de Code, moet de protoloog aan verschillende voorwaarden voldoen. Wanneer dit niet het geval is, wordt de naam niet geaccepteerd door de ICN en wordt deze uitgesloten van verdere verwerking en deelname. De belangrijkste voorwaarde is dat de nieuwe naam zowel effectief als geldig gepubliceerd moet zijn.

Om **effectief** te worden gepubliceerd, moet de naam in druk verschijnen en beschikbaar zijn op (ten minste 2) openbaar toegankelijke plaatsen (zoals bibliotheken) (Art. 29). Vanaf 1 januari 2012 wordt een publicatie in elektronische vorm (pdf) ook geaccepteerd, mits het een ISSN- of ISBN-nummer heeft.

Om **geldig** te worden gepubliceerd, moet een nieuwe naam (van de rang van geslacht of lager):

- effectief gepubliceerd zijn op of na 1 mei 1753 (voor sommige groepen mossen en alle fungi geldt een andere datum);
- geassocieerd zijn met de taxonomische rang waarvoor die geldt (Art. 37), vanaf 1 januari 1953;
- vergezeld zijn van een beschrijving of **diagnose** die aangeeft waarin het nieuwe taxon verschilt van gerelateerde taxa. Tussen 1 januari 1935 en 31 december 2011 moeten beschrijvingen of diagnoses in het Latijn zijn opgesteld, daarna mag het ook in het Engels (Art. 39);
- vanaf 1 januari 1958 vergezeld zijn van de aanduiding van het type-exemplaar (art. 40.1). Na 1 januari 1990 moet ook het Herbarium worden aangegeven waarin het type is gedeponneerd (art. 40.7). Herbaria wordt over het algemeen aangehaald via hun standaard acroniem dat te vinden is in Thiers (continu herzien).

In de botanie kan de naam van het epitheton niet hetzelfde zijn als de geslachtsnaam. In de zoölogie is dit wél toegestaan (*Bufo bufo* voor de gewone pad, of *Giraffa giraffa* voor de zuidelijke giraffe). Zo'n naam wordt een **tautoniem** genoemd en is ongeldig onder de botanische code.

Af en toe komt het voor dat iemand een naam publiceert die exact dezelfde is als een naam die eerder is gepubliceerd voor een ander taxon. Beide namen worden dan **homoniemen** genoemd en de meer recente is **onwettig** volgens de botanische code.

3.5 Typen

Het koppelen van het juiste type-exemplaar aan een naam is essentieel voor de naamgeving van planten en fungi (en dieren). Er is een aantal regels opgesteld om met situaties om te gaan waarin het onzeker is welk exemplaar als type moet worden aangeduid.

In de plantkunde wordt een plantenverzameling of -collectie over het algemeen aangegeven door de naam van de verzamelaar en zijn/haar unieke verzamelnnummer te vermelden, bijvoorbeeld *Lebrun 1234*. [Als een exemplaar een bijbehorende barcode heeft, kan dit aanvullend worden vermeld.] In het veld neemt een verzamelaar vaak meerdere monsters of exemplaren van de-

zelfde plant of dezelfde populatie, en deze krijgen dezelfde referentie (*Lebrun* 1234). Daardoor kan één enkele verzameling dus meerdere duplicaten bevatten, die vaak als ruilobjecten naar verschillende Herbaria worden gestuurd. Het type van een plantennaam kan echter maar één exemplaar zijn, aangeduid als het **holotype**. Alle bestaande duplicaten van het holotype worden de **isotypen** genoemd. Hoewel de isotypen erg nuttig kunnen zijn voor onderzoek, wordt bij de toepassing van de regels van de nomenclatuur alleen het holotype in ogenschouw genomen. Naast een gedroogde plant of schimmel kan ook een afbeelding als holotype dienen.

Wanneer de protoloog niet specifiek het bestaan van één of meer duplicaten vermeldt, kan het exemplaar dat aanwezig is in het herbarium waar de auteur van de naam werkte of een exemplaar waartoe hij/zij zeker toegang had tijdens het opstellen van de beschrijving van het nieuwe taxon, worden beschouwd als het holotype.

Alle andere collecties die in de protoloog worden genoemd, maar niet behoren tot de typecollectie, worden de **paratypes** genoemd.

Vóór 1958 was men niet verplicht het type-exemplaar voor een nieuwe naam te vermelden (zie ook paragraaf 3.4). Als gevolg hiervan vermelden publicaties die voor deze datum verschenen regelmatig geen specifiek type, maar eerder de diverse collecties die door de auteur zijn geraadpleegd voor het nieuwe taxon. Deze worden dan allemaal beschouwd als 'oorspronkelijk materiaal' en worden **syntypes** genoemd. Aangezien een naam maar één type mag hebben, moet men in deze gevallen een type kiezen uit dit oorspronkelijke materiaal (de geciteerde collecties en al hun duplicaten). Zo'n gekozen type wordt dan het **lectotype** genoemd. Duplicaten van het lectotype heten dan de **isolectotypen**. Wanneer iemand een lectotypificatie publiceert, is het toevoegen van de woorden "*designated here*" verplicht.

In een situatie waarin al het originele materiaal, inclusief alle relevante illustraties, verloren is gegaan (na bewijs van een uitgebreide zoektocht), mag men een nieuw type selecteren dat vervolgens het **neotype** wordt genoemd. Duplicaten van het neotype worden dan de **isoneotypen**. Bij het kiezen van een neotype probeert men vaak materiaal te selecteren dat is verzameld op of dichtbij de oorspronkelijke type-locatie, maar dit is niet verplicht. In het algemeen streeft men ernaar een neotype te selecteren waardoor de nomenclatorische stabiliteit gegarandeerd is, dus wat niet leidt tot noodzakelijke naamsveranderingen.

Ten slotte is het holotype-materiaal mogelijk te schaars om een taxon adequaat te kunnen diagnosticeren (bedenk dat het type ook een illustratie kan zijn waarbij sommige details mogelijk niet duidelijk zijn). In zo'n geval mag men een 'ondersteunend type' kiezen dat bekend staat als het **epitype**, om geen twijfel te laten bestaan over de identiteit van het betreffende taxon. Ook hier is het belangrijk om het epitype verstandig te kiezen, zodat de stabiliteit van de naamgeving wordt gegarandeerd.

Het is belangrijk op te merken dat de Code een 'exemplaar' definieert als een verzameling van één enkele soort of een infraspecifiek taxon dat één enkel organisme, delen van één of meer organismen of zelfs meerdere kleine organismen kan omvatten. Een exemplaar wordt meestal op één enkel herbariumvel gemonteerd of in een gelijkwaardig preparaat, zoals een doos, pakket, pot of op een microscoopglasje.

Voorbeelden met typen

Citatie van holotype en isotypen:

Solanum aculeastrum Dunal (1852: 366). – Type: Afrique du Sud, Cape of Good Hope, eastern part near Morleg, 1500 ft., 1838, Drège s.n. (holo-: G-DC; iso-: AD, BM, K, P).

Uitleg: De protoloog van de soortnaam *Solanum aculeastrum* werd door Dunal gepubliceerd in 1852. Dunal meldt dat hij één enkel exemplaar zag, verzameld door Drège, zonder verzamelnummer (*s.n.* = *sine numero*), en ook dat hij dit zag in het herbarium van De Candolle, dat in Genève wordt bewaard. Dus, dat exemplaar (in G-DC) moet gezien worden als het holotype. Later werden diverse duplicaten van deze collectie ontdekt, in Adelaide (AD), het British Museum (BM), de Royal Botanic Gardens, Kew (K) en het Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (P).

Aanwijzen van een lectotype:

Antephora elegans Schreb. var. *africana* Pilg. (Pilger 1901: 119). – Type: D.R. Congo, Stanley-Pool, June 1899, *Schlechter 12508* (lectotype: B [B 10 0168252], **designated here**; isolectotypes: B [B 10 0168251], BR [BR0000013591571], K [K000281098], P).

Uitleg: In de protoloog van het gras *Antephora elegans* var. *africana* worden vier exemplaren geciteerd, *Buchholz 1875*, *Dinklage 464*, *Devèvre 120* en *Schlechter 12508*, die we moeten beschouwen als syntypen en ze vertegenwoordigen het oorspronkelijk materiaal. Omdat de auteur in Belijn (B) werkte, moet het lectotype bij voorkeur daar vandaan komen. Geen van de exemplaren, behalve die van *Schlechter*, zijn aanwezig in B en zijn waarschijnlijk verloren gegaan tijdens de brand van 1943. B heeft twee vellen van *Schlechter 12508*, waarvan er één geen aartjes meer heeft, de ander heeft nog enkele aartjes in een enveloppe dat op het vel is geplakt. Die laatste wordt hier als lectotype geselecteerd, met duplicaten in de Plantentuin Meise, België (BR), de Royal Botanic Gardens, Kew (K) en het Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (P). Waar beschikbaar werden de barcodes van de exemplaren toegevoegd.

Aanwijzen van een neotype (hier een illustratie, ook wel aangeduid als een iconotype, figuur 17):

Dracaena sanderiana Sander ex Mast. (Masters 1892: 731). — Neotype (designated here): Gard. Chron., ser. 3, 13: 445 (1893), f. 65 (iconotype).

Uitleg: *Dracaena sanderiana* werd eerst tentoongesteld door de kweker Sander op de internationale tentoonstelling in Earl's Court (1892), en in hetzelfde jaar gepubliceerd door Masters, mét een beschrijving maar zonder illustratie. Oorspronkelijk materiaal van de tentoongestelde plant is niet getraceerd en is waarschijnlijk nooit bewaard gebleven. Een jaar later, werd *D. sanderiana* door Sander tentoongesteld in Gent en werd een illustratie gepubliceerd Gard. Chron., ser. 3, vol. 13 (1893). Deze illustratie toont waarschijnlijk dezelfde plant als die oorspronkelijk werd getoond in 1892 en is daarom hier gekozen als het neotype.

3.6 Auteursnamen, nieuwe taxon-namen, nieuwe combinaties

De persoon die een nieuwe taxon-naam publiceert, is de auteur van die naam en wordt in meer formele of wetenschappelijk documentatie achter de betreffende naam geplaatst. De auteursnaam wordt vaak afgekort. Deze afkorting is gestandaardiseerd en werd gepubliceerd door Brummitt & Powell (1992). Deze zijn nu via een online database onderhouden door IPNI (<http://www.ipni.org>) beschikbaar.

Soms publiceert een auteur een taxon-naam in de publicatie van iemand anders (hetzij als een hoofdstuk in een boek, of gewoon als een deel van een artikel dat aan hem is toegeschreven). In dat geval kunnen beide auteurs worden aangehaald met het verbindende woord 'in'. Bijvoorbeeld, *Verrucaria aethiobola* Wahlenb. in Acharius, Methodus, Suppl.: 17. 1803. De ICN ziet het gedeelte na Wahlenb. als een bibliografische referentie en deze maakt daarom geen deel uit van de naam.

In andere situaties kan een auteur een taxon-naam geldig publiceren, maar deze aan een andere persoon toeschrijven, bijvoorbeeld wanneer die persoon de naam heeft voorgesteld (op een herbariumlabel of zelfs mondeling) maar nooit geldig heeft gepubliceerd. In dat geval wordt de naam van die laatste wel gegeven, maar wordt gevolgd door 'ex' en de naam van de auteur die deze geldig heeft gepubliceerd, bijvoorbeeld *Acalypha racemosa* Wall. ex Baill. Dus, Baillon publiceerde formeel de naam *Acalypha racemosa*, die Wallich al voor die soort had bedacht. Het wordt ook geaccepteerd om de naam van de eerste auteur weg te laten en deze soort simpelweg aan te duiden als *Acalypha racemosa* Baill.

De intentie van een auteur om een nieuwe taxon-naam te publiceren, wordt vaak aangegeven door achter de naam een afkorting toe te voegen: **spec. nov.** of **genus nov.** of **subsp. nov.**, enz.

Wanneer een auteur een soort van het ene geslacht naar het andere verplaatst, wordt het epitheton overgebracht naar het nieuwe geslacht, terwijl de oorspronkelijke auteur tussen haakjes wordt geplaatst, gevolgd door de auteur die de soort verplaatst, b.v. *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone. Deze soort werd oorspronkelijk als *Pennisetum purpureum* door Schumacher (1827) beschreven en door Morrone (2010) overgebracht naar het geslacht *Cenchrus*. Merk op dat de uitgang van het epitheton is veranderd in overeenstemming met de Latijnse grammatica. De naam *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone wordt een nieuwe combinatie genoemd (vaak afgekort als **comb. nov.**), omdat het oorspronkelijke epitheton (uit de protoloog) wordt samengevoegd met de naam van een ander geslacht. De naam die het epitheton leverde voor de nieuwe combinatie, wordt het **basionym** genoemd; in dit geval *Pennisetum purpureum* Schumach.

Hetzelfde gebeurt wanneer een auteur een naam op- of afwaardeerd naar een andere taxonomische rang. B.v. in *Cenchrus polystachios* (L.) Morrone subsp. *atrichus* (Stapf & C.E.Hubb.) Morrone, werd de naam *Pennisetum atrichum* Stapf & C.E.Hubb., het basionym, door Morrone overgebracht naar een ondersoort van *Cenchrus polystachios*. De naam *Cenchrus polystachios* (L.) Morrone subsp. *atrichus* (Stapf & C.E.Hubb.) Morrone is niet alleen een nieuwe combinatie (**comb. nov.**, omdat het basionym naar een ander geslacht is verplaatst), maar geeft het taxon ook een nieuwe taxonomische status of rang, vaak aangegeven door **stat. nov.**, ook na de nieuwe naam toe te voegen.



△ *Figuur 17. Het neotype (iconotype) van Dracaena sanderiana Sander ex Mast. in Gard. Chron., ser. 3, 13: 445 (1893), f. 65.*

3.7 Geaccepteerde namen en synoniemen: de prioriteitsregel

De wetenschap van de taxonomie is dynamisch; verbetering van onze kennis leidt vaak tot wijzigingen in de natuurlijke classificatie. Dit betekent dat een studie nieuwe onderzoeksgegevens kan opleveren, die een nieuwe kijk op de variatie binnen een soort ondersteunen, of op de afbakening van geslachten, families enz. Het is belangrijk om te begrijpen dat een dergelijke visie een nieuwe hypothese vertegenwoordigt, een nieuwe mening, ondersteund door logische argumenten. Door dit proces verbetert de classificatie of het taxonomische raamwerk idealiter en evolueert het naar een stabiele eindtoestand. Onderzoekers kunnen echter ondersteunende gegevens voor alternatieve hypothesen afwegen, en dus ook kiezen voor alternatieve classificaties. Het is dan moeilijk te zeggen welke 'correct' is, omdat we de evolutionaire routes nooit volledig zullen kunnen reconstrueren.

Bij het bestuderen van een bepaalde groep taxa kan een auteur twee of meer namen hebben die volgens hem/haar dezelfde taxonomische eenheid vertegenwoordigen. Volgens het type-concept betekent dit in feite dat deze auteur van mening is dat de type-exemplaren van beide namen tot hetzelfde taxon behoren. Zo waren Clayton & Renvoize (1982) van mening dat de volgende soortnamen, in alfabetische volgorde, op dezelfde, variabele, grassoort betrekking hadden:

Pennisetum angolense Rendle (Rendle 1899: 189).

Pennisetum giganteum A.Rich. (Richard 1850: 382).

Pennisetum macrourum Trin. (Trinius 1826: 64).

Pennisetum scaettae Robyns (Robyns 1934: 3).

Pennisetum stenorrhachis Stapf & C.E.Hubb. (Stapf & Hubbard 1933: 270).

Dit impliceert dat deze vijf namen **synoniemen** zijn, maar de nomenclatuurregels bepalen dat binnen één classificatie slechts één enkele naam de **geaccepteerde naam** kan zijn; dus, welke kiezen we? Hier moeten we de **prioriteitsregel** toepassen (Principe III van de Code), die aangeeft dat het oudste synoniem voorrang heeft op de andere. In dit geval is dus de juiste en geaccepteerde naam voor deze soort *Pennisetum macrourum* Trin., omdat die in 1826 werd gepubliceerd.

De prioriteitsregel is van toepassing op alle taxonomische niveaus. Zo publiceerde Morrone in 2010 een artikel waarin hij het geslacht *Pennisetum* Rich. (Richard in Persoon 1805: 72) samenvoegde met *Cenchrus* L. (Linnaeus 1753: 1049). De prioriteitsregel laat zien dat het laatste geslacht prioriteit heeft boven het eerste, en daarom moet het geslacht in zijn nieuwe omschrijving *Cenchrus* worden genoemd.

Als we de visie van Morrone (2010) volgen, dan is de geaccepteerde naam voor de soort *Pennisetum macrourum* Trin. dus *Cenchrus macrourus* (Trin.) Morrone. Merk op dat wanneer een andere auteur het niet eens is met deze hypothese en pleit voor het behouden van de twee geslachten *Pennisetum* en *Cenchrus*, er twee feitelijk geaccepteerde namen zijn voor dezelfde soort, afhankelijk van het wetenschappelijke standpunt.

Verder is het belangrijk om te weten dat de prioriteitsregel alleen van toepassing is op namen van dezelfde taxonomische rang! Wanneer in het vorige voorbeeld de naam *Pennisetum polystachion* (L.) Schult. var. *africana* Thunb. (Thunberg 1794: 101) ook een synoniem zou zijn geweest van de vijf andere namen in *Pennisetum*, dan zou het de oudst beschikbare naam zijn geweest. Omdat het echter een naam is met de rang van variëteit, speelt hij geen rol bij prioriteit van namen op soortniveau. Als auteur Xxx die variëteit zou willen upgraden naar het soortniveau (als *Pennisetum africanum* (Thunb.) Xxx), zou de publicatiedatum van die naam op soortniveau de datum zijn waarop deze nieuwe combinatie werd gepubliceerd. Hieruit volgt logisch dat wanneer het taxon *Ixora aneimenodesma* K.Schum. subsp. *kizuensis* De Block geen synoniemen heeft en een auteur Xxx wil deze ondersoort verheffen tot het soortni-

veau, dan zijn er twee opties: 1) om de naam *Ixora kizuensis* (De Block) Xxx te publiceren, of 2) om een nieuwe soortnaam te publiceren (bijv. *Ixora congoensis* Xxx), met de naam van de ondersoort als synoniem. Optie 2 wordt niet als erg 'beleefd' beschouwd, omdat de oorspronkelijke auteur uit de naam wordt verwijderd. Het zou echter kunnen dat de naam *Ixora kizuensis* al bestaat voor een andere soort. In dat geval is de noodzakelijke nieuwe combinatie 'bezet' en moet men kiezen voor een nieuwe naam, b.v. *Ixora deblockiae* Xxx om daarmee de oorspronkelijke auteur te eren. De noodzaak om zo'n **nieuwe naam** te creëren voor een taxon dat al eerder is beschreven, wordt vaak aangegeven door de toevoeging **nom. nov.**

Er zijn twee uitzonderingen op de prioriteitsregel. De eerste is dat er acht familienamen zijn en één onderfamiliennaam waarbij men mag kiezen tussen twee alternatieven (ICN Art. 18.5, 19.8). Dergelijke namen worden **nomina alternativa** (of **nom. alt.**) genoemd. Hieronder staat een lijst met deze toegestane alternatieve familie- en onderfamilienames. Het wordt geadviseerd om binnen één publicatie de namen van slechts één van de kolommen te gebruiken.

Apiaceae	Umbelliferae
Arecaceae	Palmae
Asteraceae	Compositae
Brassicaceae	Cruciferae
Clusiaceae	Guttiferae
Fabaceae incl. subfam. Faboideae	Leguminosae incl. subfam. Papilionoideae
Lamiaceae	Labiatae
Poaceae	Gramineae

Ten tweede kan de strikte toepassing van de regels die zijn vastgelegd in de ICN leiden tot 'ongewenste' veranderingen en tot grote instabiliteit van de nomenclatuur binnen een bepaalde taxonomische groep. In dat geval kan men een voorstel doen om een bepaalde naam te behouden, te conserveren, of juist af te wijzen. In geval van onduidelijkheid met betrekking tot het juiste type-exemplaar, kan men een soortgelijk voorstel formuleren om een specifiek type te behouden of aan te wijzen. Dergelijke voorstellen moeten worden gepubliceerd in het tijdschrift *Taxon* en er wordt vervolgens over gestemd op het eerstvolgende Internationale Botanische Congres. Geconserveerde of afgewezen namen of typen worden over het algemeen gevolgd door de aanduiding '**nom. cons.**', '**nom. rej.**' of '**type cons.**'

3.8 Hybriden

In de Code worden namen van hybride taxa in een apart hoofdstuk behandeld. Ze kunnen worden herkend aan het gebruik van het vermenigvuldigings-teken \times of door de toevoeging van het voorvoegsel "notho-" aan de term die de rang van het taxon aangeeft, dus een **nothospecies** of een **nothogenus**. De naam van een hybride tussen twee soorten uit hetzelfde geslacht is samengesteld uit de naam van het geslacht, plus een uniek epitheton voorafgegaan door het \times -teken. Wanneer er twee soorten van verschillende geslachten een hybride vormen, dan is de naam daarvoor samengesteld uit de naam van het nothogenus plus een uniek epitheton. De naam van het nothogenus is vaak samengesteld uit delen van de namen van de twee betrokken geslachten.

Bijvoorbeeld, de hybride tussen *Oenothera biennis* L. en *Oenothera villosa* Thunb. kan worden aangegeven door ofwel het uitschrijven van de **hybride formule** *Oenothera biennis* L. \times *Oenothera villosa* Thunb., ofwel door de nothospecies naam *Oenothera* \times *drawertii* Renner ex Rostański.

Het nothogenus \times *Festulolium* Asch. & Graebn. groepeert individuen afkomstig van een kruising tussen soorten van de geslachten *Festuca* L. en *Lolium* L. De nothospecies \times *Festulolium loliaceum* (Huds.) P.Fourn. geeft de hybride aan tussen *Festuca pratensis* Huds. en *Lolium perenne* L., die ook kan worden aangegeven door de hybride formule *Festuca pratensis* Huds. \times *Lolium perenne* L.

3.9 Cultuurplanten

Namen van cultuurplanten worden niet gereguleerd door de ICN, maar door de International Code of Nomenclature for Cultivated Plants (ICNCP).

Gecultiveerde vormen kunnen worden aangegeven door slechts drie categorieën, de **Cultivar**, de **Groep** en de **grex**. De laatste wordt alleen gebruikt in de orchideeënteelt en geeft de groep van nakomelingen aan die het resultaat zijn van de kruising tussen twee entiteiten (taxa of cultivars). Een Cultivar, afgekort als **cv.**, is een zeer specifieke vorm die is afgeleid van een selectieproces of mogelijk zelfs rechtstreeks uit het wild is gehaald. Er wordt een niet-Latijnse naam toegevoegd achter de naam van het taxon waarvan het is afgeleid, bijvoorbeeld *Solanum tuberosum* L. cv. Gogu-vallei, ook geschreven als *Solanum tuberosum* 'Gogu-vallei'. Als het niet duidelijk is tot welke soort een cultivar behoort, kan de cultivarnaam direct achter het geslacht volgen, bijvoorbeeld *Rosa* cv. Penelope. Een nieuwe cultivarnaam kan formeel worden geregistreerd door een International Cultivar Registration Authority. Een orgaan dat moet worden goedgekeurd door de ISHS Commission for Nomenclature and Cultivar Registration. Elke autoriteit krijgt een specifieke taxonomische groep toegewezen. Een Groep, afgekort als **gr.**, omvat een aantal cultivars gedefinieerd aan de hand van een duidelijk kenmerk. Je zou bijvoorbeeld een Groep kunnen maken voor alle gele rozen. Hier wordt duidelijk dat namen van gekweekte planten geen deel uitmaken van een natuurlijke classificatie, omdat ze geen gemeenschappelijke afkomst hoeven aan te duiden.

In de literatuur over gecultiveerde planten kom je regelmatig 'variëteit' of 'vorm' tegen. Deze termen moeten eigenlijk niet gebruikt worden voor gecultiveerde planten, aangezien ze abusievelijk verwijzen naar de ICN die niet over namen van gecultiveerde planten gaat. Een dergelijk gebruik van 'variëteit' of 'vorm' moet worden gezien als een informele beschrijvingen van de waargenomen variatie, zonder de bedoeling om een nieuwe taxon-naam te creëren onder de regels van de ICN.

International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants

- <http://www.iapt-taxon.org/nomen/main.php?>

Wetenschappelijke namen en typen

- International Plant Name Index: <https://www.ipni.org>
- Tropicos: <http://www.tropicos.org>
- World Flora Online: <http://www.worldfloraonline.org>
- African Plant Database: <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/index.php>
- Linnaean Typification Project: <http://www.nhm.ac.uk/our-science/data/linnaean-typification>
- Global Plants: <https://plants.jstor.org>

4.



De kunst van het identificeren

In de voorgaande hoofdstukken gaven we aan dat de taxonomische wetenschap de immense diversiteit van levende organismen op aarde wil organiseren in afgebakende eenheden. Daarmee biedt het de essentiële instrumenten voor wetenschappelijke communicatie in de vorm van namen en een classificatie. Om biologisch onderzoek te kunnen doen, de natuur te beschermen, planten voor medicinale doeleinden te gebruiken, enz., is het van cruciaal belang om toegang te hebben tot de schat aan informatie die over meerdere eeuwen is verzameld. On-line bronnen groeien exponentieel. Maar, voordat men bijvoorbeeld gebruik kan maken van de over bepaalde soorten of geslachten beschikbare informatie, moet men de naam van het betreffende taxon kennen. Omdat specialisten die levende organismen uit het hoofd kunnen identificeren zeldzaam zijn, vooral in de tropen waar de diversiteit hoog is, hebben taxonomen instrumenten ontwikkeld waarmee ook niet-specialisten materiaal betrouwbaar op naam kunnen brengen, ofwel identificeren.

4.1 Identificatiesleutels

Een identificatiesleutel is een praktisch hulpmiddel dat zowel door specialisten als door niet-specialisten wordt gebruikt om planten, schimmels of dieren te identificeren op het niveau van familie, tribus, geslacht, soort of andere. Het is vaak het meest gebruikte onderdeel van een taxonomische publicatie en verdient daarom de grootste aandacht van de onderzoeker die hem maakt!

Om een identificatiesleutel te gebruiken, moet men in het algemeen tenminste een basiskennis hebben van de morfologie en terminologie van planten of schimmels. Er bestaan verschillende goede en uitgebreide botanische woordenlijsten (zie het tekstkader aan het einde van dit hoofdstuk), die daarbij nuttig kunnen zijn.

Hoe gebruik je een sleutel?

Een identificatiesleutel is over het algemeen een soort vraag-en-antwoord 'spel', waarbij de gebruiker wordt gevraagd om (zorgvuldig!) specifieke kenmerken te observeren. Een identificatiesleutel kan bijvoorbeeld het kenmerk 'bloemkleur' gebruiken en de gebruiker kan kiezen tussen de toestanden 'geel' of 'wit'. Ga bij geel door met vraag nummer 2, ga bij wit naar vraag nummer 10. Het eerste deel van de identificatiesleutel ziet er dan als volgt uit:

- | | | | |
|----|---|--------------------|----|
| 1. | - | Bloemen geel | 2 |
| | - | Bloemen wit | 10 |
| 2. | - | ... | |
| | - | ... | |

In het bovenstaande voorbeeld wordt elke vraag een **couplet** van de sleutel genoemd, met twee **verzen**. Het is duidelijk dat de twee opties elkaar we-

derzijds moeten uitsluiten en geen overlap moeten vertonen. Na een aantal vragen correct te hebben beantwoord, eindigt de gebruiker bij de naam van het organisme.

Over het algemeen krijgt de gebruiker de keuze tussen twee opties. In zo'n geval is de sleutel **dichotoom** (ook wel binair genoemd). Sommige sleutels geven de keuze tussen drie of zelfs meer opties (in het bovenstaande voorbeeld zou je bijvoorbeeld 'Bloemen blauw', 'Bloemen rood' kunnen toevoegen om tot vier verzen te komen. Dit worden ook wel **polytome** sleutels genoemd. In het algemeen wordt deze structuur als minder praktisch beschouwd en is meer vatbaar voor identificatiefouten. U kunt dergelijke keuzes eenvoudig vermijden door verschillende toestanden te combineren in één vers, zoals:

- 1. - Bloemen geel, blauw of rood 2
- Bloemen wit 10
- 2. - Bloemen geel 3
- Bloemen blauw of rood 6
- 3. - Twijgen stekelig *Rosa banksiae*
- Twijgen zonder stekels 4
- ...
- 6(2) - Meeldraden ...
- ...
- ...
- 10(1) - Bladeren ...
- ...

Merk op dat vraag #3 de naam van de plant geeft en dat vraag 6 en 10 laten zien in welke vorige vraag ernaar werd verwezen. Dit laatste helpt de gebruikers om de gevolgde route bij te houden, en wordt in het algemeen pas toegevoegd wanneer men bij een couplet is gearriveerd na het maken van een relatief grote 'sprong' in de sleutel.

Er zijn in feite twee vormen van dichotome sleutels. De vorm hierboven, waarbij beide verzen elkaar direct volgen, wordt een gebonden sleutel genoemd. De tweede vorm wordt een ingesprongen sleutel genoemd en scheidt de twee verzen in de ruimte. Hier is een voorbeeld van een ingesprongen sleutel (aangepast van een sleutel naar de soorten *Solanum* in Afrika, Vorontsova & Knapp 2016):

- 1. Meeldraden in één bloem van verschillende lengte; oostelijk en noordoostelijk Afrika.
- 2. Bladschijf rond tot niervormig, vaak breder dan lang ,1,2–2,5 cm lang; bladsteel langer dan de bladschijf. Zeldzaam in het noordoosten van Somalië *S. cymbalariifolium*
- 2. Bladschijf eivormig tot elliptisch of lancetvormig, langer dan breed, 2–14 cm lang; bladsteel korter dan bladschijf. Oostelijk en noordoostelijk Afrika.

- 3. Stengel dicht bezet met naaldvormige stekels, aan de voet minder dan 0,5 mm breed, lichtgeel; vrucht volledig verborgen door de opgezwollen kelk *S. coagulans*
 - 3. Stengel zonder of spaarzaam bezet met stekels, indien aanwezig dan aan de voet breder dan 1 mm, geel tot oranje of bruin; vrucht ten minste gedeeltelijk zichtbaar *S. melastomoides*
1. Alle meeldraden in één bloem even lang; wijd verspreid.
- 4. Eén bloem per bloeiwijze, bloeiwijzesteel en -as afwezig; bloemkroon 5-hoekig, gelobd, tot $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$ ingesneden, 0,9–1,3 cm in doorsnee; Zuid-Afrika *S. supinum*
 - 4. Meestal meerdere bloemen per bloeiwijze, bloeiwijzesteel en/of -as aanwezig in ten minste enkele bloeiwijzen; bloemkroon meestal stervormig, voor meer dan $\frac{1}{3}$ ingesneden, of wanneer tot $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$ ingesneden, dan bloemkroon van bloemen met lange stijl meer dan 1,3 cm in doorsnee; wijd verspreid *S. tuberosum*

Wanneer het eerste vers van couplet 1 overeenkomt met de te identificeren plant, moet men doorgaan met de vraag die er onmiddellijk onder wordt geformuleerd (nummer 2). Echter, wanneer het tweede vers van couplet 1 correct is, gaat men verder met de vraag eronder, en dat is nummer 4. Zoals te zien is, zijn er aan de rechterkant van de sleutel geen nummers nodig die naar de volgende vraag wijzen. Het voordeel van een ingesprongen sleutel is dat de gebruiker de manier waarop de soorten zijn gegroepeerd gemakkelijker kan afleiden uit de structuur van de sleutel. Een nadeel is dat men regelmatig moet zoeken naar het tweede vers van de betreffende vraag/couplet. Dit kan in grotere groepen behoorlijk ver naar beneden zijn en in langere sleutels zal er veel ongebruikte ruimte aan de linkerkant van de pagina zijn, wat resulteert in een sleutel die meer pagina's nodig heeft.

Merk ook op dat geografische informatie in de sleutel kan worden gebruikt. Ondanks dat het geen morfologisch kenmerk is, kan het nuttige informatie zijn. Evenzo kan ecologische of fenologische informatie (bloeiperiode/vruchtperiode) worden toegevoegd. Het is echter raadzaam om dit soort gegevens alleen te gebruiken als aanvullend bij de morfologische kenmerken.

Hoe maak je een sleutel?

Kies eerst welk type sleutel je wilt construeren (zie hierboven), en voor welke groep organismen. Bedenk dan welke subgroepen er binnen de betreffende groep te onderscheiden zijn. Selecteer vervolgens die groepen die kunnen worden gedefinieerd door kenmerктоestanden die goed te onderscheiden zijn en gemakkelijk kunnen worden waargenomen met het blote oog of met gebruik van een 10 × loupe. Als de eerste vraag van een sleutel bijvoorbeeld gaat over stuifmeelkorrels, zal een behoorlijk aantal gebruikers onmiddellijk vastzitten en niet verder kunnen. Het is ook belangrijk dat elk kenmerk dat

wordt genoemd in het ene vers van een couplet, ook aanwezig moet zijn in het andere vers! Een couplet zoals hieronder wordt niet aanbevolen:

1. - Bloemen geel; bladeren langer dan 10 cm 2
- Bloemen wit 10

Een gebruiker die een plant heeft met witte bloemen, maar ook bladeren heeft die langer zijn dan 10 cm, zal onzeker worden over wat hij/zij moet kiezen. Dit brengt ons bij een ander praktisch probleem. Bij het maken van een sleutel moet men zich altijd proberen voor te stellen dat de gebruiker ervan vaak maar één enkele plant in de hand heeft! Dus de sleutel moet exacte informatie geven. Wanneer een couplet "Bloemen groot" en "Bloemen klein" als keuzes geeft, is dit een relatief concept en kan de gebruiker niet beoordelen of zijn/haar bloemen met een diameter van 1 cm als 'groot' of 'klein' moeten worden beschouwd.

Eén enkel taxon kan soms meer dan één keer in de sleutel voorkomen. Dat kan voorkomen wanneer een specifiek taxon variabel is voor een bepaald goed waarneembaar kenmerk. Zo kan een soort b.v. meestal witte maar soms gele bloemen hebben, terwijl de meeste soorten in dat opzicht constant zijn.

Het creëren van een sleutel voor een grotere groep soorten (of andere taxa) wordt vaak sterk vergemakkelijkt door het opstellen van een taxon/kenmerken-matrix (zie ook figuur 18). Vaak helpt het om een beter overzicht te krijgen van de verdeling van de kenmerken en hun correlatie. (Zie ook de volgende paragraaf.)

▽ Figuur 18. Voorbeeld van een taxon/kenmerken datamatrix (met fictieve taxa).

	Levensvorm			Bladbreedte			Bloemen		Vorm bloemkroon			Kleur vrucht	
	boom	liaan	kruid	1-5 mm	5-10 mm	10-30 mm	solitair	geclusterd	ster	kom	trompet	geen	rood
Aus a	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
Aus b	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
Aus c	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
Bus x	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1
Bus y	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
Bus z	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1
Cus m	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Cus n	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
Cus o	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1

Tot slot, nog wat advies over de het maken van een sleutel:

1. Wees praktisch! Gebruik 100% duidelijke taal. Probeer kenmerken die veel uitleg nodig hebben of anderszins moeilijk te begrijpen of zelfs moeilijk te observeren zijn te vermijden.
2. In een volledig dichotome sleutel, wanneer alle taxa slechts één keer voorkomen, zal het aantal coupletten altijd gelijk zijn aan het aantal taxa minus 1. Daarom kan men het aantal coupletten niet beïnvloeden. Men kan echter het aantal te beantwoorden vragen nodig om bij een taxon te eindigen wél beïnvloeden. De beste strategie is om te streven naar vragen/coupletten die de resterende groep van taxa in twee min of meer gelijke delen verdelen.
3. Als de soorten in een groep meestal niet tegelijk bloemen en vruchten dragen, kan het verstandig zijn om twee verschillende sleutels te presenteren, één voor bloeiend materiaal en één voor vrucht dragend materiaal.

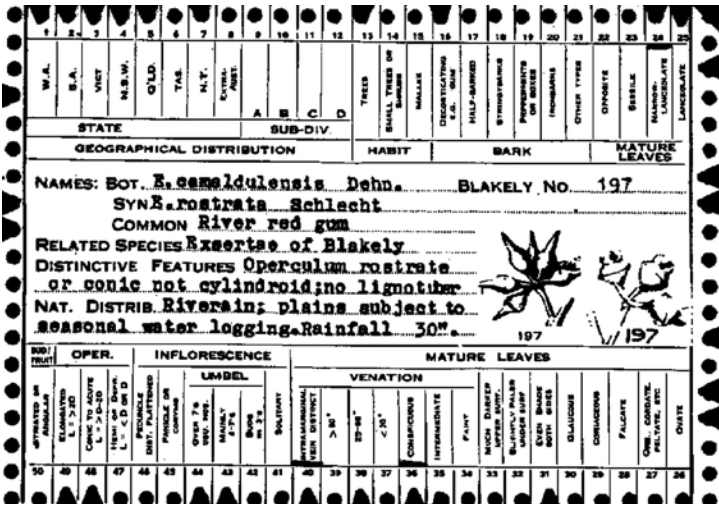
4.2 Multi-entry sleutels

De hierboven besproken sleutels hebben, zelfs als ze met de grootste zorg zijn opgesteld, een ernstige tekortkoming. De gebruiker is gehouden aan de volgorde waarin kenmerken moeten worden waargenomen. Het zou kunnen dat het hebben van b.v. een rode vrucht het aantal potentiële soorten al sterk zou verminderen, maar er pas in vraag nummer 5 naar de vruchtkleur wordt gevraagd. Met andere woorden, er zouden makkelijker manieren moeten zijn om een plant te identificeren!

Wanneer we voor een geselecteerde groep van soorten een taxon/kenmerken datamatrix (zie figuur 18 voor een voorbeeld) zouden gebruiken, dan kan de gebruiker een willekeurig kenmerk uit de lijst kiezen en de kenmerktoestand invullen die in het te identificeren exemplaar wordt waargenomen. Vervolgens kan dit proces worden herhaald totdat de specifieke combinatie van kenmerktoestanden overeenkomt met nog maar één enkele soort.

Vóór het computertijdperk probeerden taxonomen al verschillende multi-entry sleutels te maken op basis van vergelijkbare matrixsystemen. Men werkte b.v. met een groot aantal genummerde kaarten, waarbij elke kaart ofwel een kenmerktoestand of een taxon vertegenwoordigde. Degenen die geïnteresseerd zijn in dergelijke **ponskaartsleutels**, kunnen figuur 19 bekijken.

Tegenwoordig kan een dergelijke taxon/kenmerken datamatrix worden ingevoerd in diverse gebruiksvriendelijke softwarepakketten zoals Xper3 (<http://www.xper3.fr/>), DELTA-IntKey (<https://www.delta-intkey.com>) en Linnaeus NG (<http://linnaeus.naturalis.nl/>), wat dan een multi-entry sleutel oplevert. Met Xper3 en DELTA-IntKey kan zelfs vanuit de datamatrix een dichotome sleutel worden gemaakt, die in publicaties kan worden gebruikt. Sommige pakketten bevatten statistische software die de gebruiker adviseert over in welke volgende kenmerken het best gebruikt kunnen worden om het identificatieproces zo efficiënt mogelijk te maken.



△ Figuur 19. Voorbeeld van een ponskaart met de kenmerken (open gaten langs de rand) voor een soort van het genus *Eucalyptus*.

Een ander soort Multi-entry-sleutel is de zogenaamde diagnostische sleutel (ook wel synoptische sleutel genoemd). Dit omvat een lijst van diagnostische of opvallende kenmerken die voorkomen binnen een bepaalde groep van taxa. Elk kenmerk wordt dan gevolgd door een lijst van alle taxa binnen de groep die dat kenmerk bezitten. Hieronder staat een voorbeeld van een deel van een diagnostische sleutel voor taxa van Rubiaceae in Centraal-Afrika. Merk op dat de aangegeven taxa meestal geslachten zijn, maar ook tribus en zelfs individuele soorten.

VOORBEELD VAN (EEN DEEL VAN) EEN DIAGNOSTISCHE SLEUTEL:

- BLAD

bladschijf lijnvormig: *Amphiasma*, *Anthospermum usambarense*, *Cordylotigma*, *Galium*, *Knoxia*, *Kohautia*, *Manostachya*, *Oldenlandia*, *Spermacoce*

bladschijf hart- of nier-vormig: *Geophila*, *Hymenocoleus*, *Pentanisia renifolia*, *Rubia*

- BLOEM

éénslachtig: *Anthospermum*

ongelijkstijlig: *Colletocema, Craterispermum, Gaertnera, Knoxieae, Lasianthus, Morinda, Mussaendeae, Pauridiantha, Psychotrieae, Sabicea, Schizocolea, Spermacoaceae, Tricalysia*

4-tallig: *Anthospermum, Corynanthe, Eumachia, Galium, Heinsia, Ixora, Keetia, Knoxia, Lasianthus, Nauclea, Otiophora, Paraknoxia, Pavetta, Polysphaeria, Pouchetia, Psychotria, Rutidea, Spermacoaceae, Tricalysia*

pleiomeer (met meer elementen dan normaal): *Coffeaeae, Gardenia, Rothmannia octomera, Schumanniophyton*

kelkbuis lang (> 1 cm): *Adenorandia, Gardenia, Rothmannia, Schumanniophyton hirsutum*

kelkbuis met zijdelingse spleet: *Calycosiphonia, Gardenia, Polysphaeria, Rothmannia, Sericanthe, Tricalysia*

kelk asymmetrisch, met sterk ongelijke lobben, of slechts 1 zijdelingse lob: *Knoxieae*

4.3 DNA barcodering

De modernste methode om te identificeren is door het gebruik van het unieke DNA-profiel van elk taxon. Het idee is dat wanneer deze unieke DNA-sequentie, of beter bekend als de 'DNA-barcode', bekend is voor alle soorten en we de sequentie van een onbekend organisme hebben, we deze kunnen vergelijken met onze databank om de naam van de soort te bepalen. Eenvoudig in theorie; een stuk ingewikkelder in de praktijk! Ten eerste hebben we een databank nodig voor alle c. 400.000 plantensoorten, c. 10.000.000 diersoorten, c. 5.000.000 schimmelsoorten enz., wat verre van evident is. Aangezien sequenceren (het verkrijgen van de volgorde van de baseparen) van de volledige DNA-inhoud van een organisme nog steeds erg tijdrovend en duur is, moeten we bovendien een stuk van het genoom vinden, een specifiek deel van het DNA, dat voldoende variatie biedt op het gewenste taxonomische niveau (vaak soorten). Bij veel diergroepen wordt het cytochroom-c-oxidase-I (CO1 of COX1) gen gebruikt dat ca. 1500 basenparen omvat. Voor planten is het echter een stuk lastiger. De combinatie van twee chloroplast-genen, *rbcL* en *matK*, is voorgesteld als een geschikte kandidaat. Het toevoegen van de nucleaire niet-coderende internal transcribed spacer 2 (ITS2) regio werd voorgesteld om de 'resolutie' te verbeteren. Voor schimmels zou het internal transcribed spacer 1 (ITS1) gebied geschikter zijn. Over andere, mogelijk betere suggesties wordt nog gedebatteerd. Verder blijkt dat het niet ongebruikelijk is dat deze standaard barcode merkers variatie vertonen binnen één en dezelfde soort. Dit betekent dat één enkel monster onvoldoende is om een soort in de databank van DNA-barcodes op te kunnen nemen, aangezien de

variatie binnen de soort eerst in kaart moet worden gebracht voordat een betrouwbare identificatie kan worden uitgevoerd. Men kan bijvoorbeeld niet simpelweg zeggen dat: "Aangezien mijn monster in 2 sequentieposities verschilt van die andere, vertegenwoordigt het een andere soort", vóórdat de variatie in de sequentiegegevens voor beide soorten in kaart is gebracht. Als gevolg daarvan zijn er voor elke soort meerdere monsters nodig (minimaal 10, bij voorkeur meer) om een betrouwbare barcode databank op te bouwen. Bovendien moet van elk bemonsterd exemplaar het materiaal worden bewaard om bij twijfel de identiteit nogmaals te kunnen verifiëren. De databank zal ook regelmatig moeten worden bijgewerkt om veranderingen in taxonomische concepten te incorporeren.

De DNA-barcode databank moet gebaseerd zijn op een solide en stabiel taxonomisch raamwerk van geslachten en soorten. Echter, zelfs voor een relatief bekende groep als planten kent dit raamwerk nog vele zwakke plekken. Op hun beurt kunnen de resultaten van DNA-barcode-studies soms helpen bij het nemen van betere taxonomische beslissingen, waardoor het raamwerk weer wordt versterkt.

Ondanks deze uitdagingen worden er grote inspanningen geleverd om een wereldwijde databank voor DNA-barcodes te creëren. De activiteiten worden gecoördineerd door het International Barcode of Life Consortium (IBOL) samen met veel regionale centra. Op dit moment kost het verkrijgen van een DNA-sequentie van een organisme vaak enkele dagen laboratoriumwerk. Men moet dus geduld hebben bij het gebruik van deze identificatiemethode! Nieuwe processen evolueren echter snel, zoals de ontwikkeling van steeds geavanceerdere nanotechnieken, die de mogelijkheid creëren om draagbare minilabs samen te stellen, die in het veld kunnen worden gebruikt.

4.4 Identificatie van herbariumexemplaren

Het kan al moeilijk zijn om levende planten in het veld te identificeren, maar het correct identificeren van gedroogde en platgedrukte herbariumexemplaren is echt een uitdaging. De noodzakelijke kenmerken zijn niet altijd direct zichtbaar, zelfs niet met behulp van een goede 10× handlenz of een stereomicroscop (zie ook paragraaf 5.B). De simpele vraag of de bloemen wit of geel zijn, kan onbeantwoord blijven wanneer de verzamelaar deze informatie niet in het veld heeft genoteerd. Evenzo kan men zich afvragen of dit gedroogde takje met enkele bladeren en fraaie bloemen of vruchten afkomstig is van een grote boom, een liaan, een struik of zelfs een kruidachtige plant? De driedimensionale vorm (met name van bloemen en fruit) kan belangrijk zijn, maar onmogelijk te reconstrueren, evenals informatie over ondergrondse knollen, wortelstokken, geur, smaak, enz. Dit soort informatie moet door de verzamelaar in het veld worden genoteerd, zodat die kan worden overgebracht op het etiket dat bij het exemplaar hoort. Verschillende publicaties (Fish 1999, Victor et al. 2004, Bridson & Forman 2010) geven goede adviezen over hoe planten te verzamelen met behoud van zoveel mogelijk informatie en hoe zo waardevolle gedroogde herbariumexemplaren te maken.

Wanneer een herbariumexemplaar is geïdentificeerd, of dit nu op het niveau van familie, geslacht, soort of anders is, wordt de taxon-naam op een klein stukje papier geschreven, een **identificatie- of determinatiestrookje** genoemd. Dit bevat ook de naam van de onderzoeker (en indien mogelijk het instituut) en de datum. Het wordt op het herbariumvel gelijmd (indien niet voorgegomd, gebruik dan speciale lijm ter beschikking gesteld door de curator), bij voorkeur ergens in de rechterbenedenhoek van het vel en altijd boven eventuele eerdere identificaties. Zorg ervoor dat slechts een klein deel van het strookje is vastgelijmd, zodat de rest kan worden teruggeslagen om materiaal of geschreven tekst te bekijken welke er eventueel onder ligt. Sommige herbaria staan alleen het gebruik van spelden toe om labels en strookjes aan het vel te bevestigen.

Eventuele onzekerheid over de juistheid van de identificatie kan ook worden aangegeven. Gebruik bij voorkeur de afkortingen **cf.** of **aff.** De eerste is een afkorting van "confer", wat "vergelijken met" betekent en wordt gebruikt wanneer een exemplaar sterk op iets lijkt, en misschien zelfs hetzelfde is. De tweede is een afkorting van "affinis", wat "vergelijkbaar met" betekent en wordt gebruikt wanneer een exemplaar wel op iets anders lijkt, maar waarschijnlijk niet hetzelfde is.

Verklarende woordenlijsten

- Beentje H. (2015) The Kew plant glossary. 2nd edition. Richmond, Royal Botanic Gardens, Kew. EAN: 9781842466049
- Jossierand M. (1983). La description des champignons supérieurs. 2^e éd. Paris, Lechevalier.
- Jouy A., Foucault B. de (2016) Dictionnaire illustré de botanique. Mèze, Biotope.
- Missouri Botanical Garden Glossary: <http://www.mobot.org/mobot/glossary>
- Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Glossary_of_botanical_terms [in French: https://fr.wikipedia.org/wiki/Glossaire_de_botanique]

DNA barcoding

- IBOL (International Barcode Of Life): <https://ibol.org>
- Hebert P.D.N., Cywinska A., Ball S.L., deWaard J.R. (2003) Biological identifications through DNA barcodes. Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 270 (1512): 313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218.

5.



Het uitvoeren van een taxonomische bewerking

In dit hoofdstuk richten we ons op een taxonomische bewerking, een herziening van het taxonomische raamwerk, grotendeels gebaseerd op herbariumexemplaren. Bij het bestuderen van de taxonomie van een plant- of schimmelgroep waarvoor veldwaarnemingen niet gemakkelijk kunnen worden verkregen, zoals voor tropische soorten of wanneer die op afgelegen plaatsen groeien, zijn herbariumexemplaren vaak de enige beschikbare informatiebron. Het toevoegen van veldwaarnemingen aan een bewerking op basis van herbariumexemplaren kan zeer waardevol zijn, maar is meestal geen noodzaak.

Laten we aannemen dat besloten is om een taxonomische bewerking uit te voeren voor een bepaalde groep. De keuze wordt vaak geleid door specialisten die eerder hebben aangegeven dat het taxonomische raamwerk voor een bepaalde groep 'zwak' is. Dit kan het gevolg zijn van het feit dat de beschikbare identificatiesleutels van slechte kwaliteit zijn, van onduidelijke grenzen tussen taxa/soorten, of van twijfels over de juistheid van de toegepaste namen. Het is ook niet ongebruikelijk dat een deel van de 'zwakte' te wijten is aan de aanwezigheid van nog onbeschreven soorten en dus van onbegrepen variatie. Jaarlijks worden meer dan 2000 nieuwe soorten vaatplanten beschreven, evenals zo'n 75 tot 100 nieuwe geslachten. Deze trend is de afgelopen 15 jaar niet afgenomen (het aantal is de afgelopen vier jaar zelfs licht gestegen), wat aangeeft dat er nog genoeg te ontdekken valt!

Een taxonomische bewerking omvat vaak een bepaald geslacht en in de onderstaande tekst en voorbeelden gaan we ervan uit dat dit het geval is. Wanneer een geslacht veel soorten en een grote verspreiding heeft, is de studie niet zelden beperkt tot een land, een fytogeografisch gebied of een continent.

Verwijzend naar de gedetailleerdheid, grondigheid en doelgroep van de bewerking, kan men vier categorieën onderscheiden:

- *Synoptische revisie of Synopsis*: een beknopte bewerking van de taxonomie van een groep (biedt over het algemeen een identificatiesleutel, een overzicht van alle geaccepteerde soorten en hun synoniemen, soms inclusief korte morfologische beschrijvingen en enige informatie over verspreiding);
- *Taxonomische revisie*: een standaard bewerking van de taxonomie van een groep (met identificatiesleutel, volledige synonymie, type-informatie, volledige morfologische beschrijvingen, distributiegegevens, vaak ook met vermelding van de gebruikte herbariumexemplaren);
- *Monografie of monografische revisie*: een zeer grondige, allesomvattende bewerking van de taxonomie van een groep (zo gedetailleerd als een taxonomische revisie, maar vaak uitgebreid met de resultaten van aanvullende anatomische, moleculaire, ecologische of etnobotanische studies);
- *Florabewerking*: per definitie een regionale bewerking van een groep, doorgaans een kritische herziening of compilatie van bestaande (gepubliceerde) informatie. Hier worden relatief eenvoudige taxonomische problemen wel aangepakt, maar meer gecompliceerde zaken overgelaten aan meer gedetailleerde toekomstige studies. Het belangrijkste doel van een Flora is om hulpmiddelen (identificatiesleutels, beschrijvingen, illustraties, enz.) te bieden aan gebruikers die planten willen identificeren.

Voor alle vier de categorieën kan het wetenschappelijke proces worden onderverdeeld in zeven fasen (A - G, zie hieronder), die in de volgende paragrafen nader zullen worden behandeld. Gemakshalve gebruiken we de term 'taxonomische bewerking' in een bredere zin, die alle vier bovengenoemde categorieën omvat.

De zeven fasen van een taxonomische bewerking:

- A. Taxon-namen en literatuurstudie
- B. Werken met herbariummateriaal
- C. Databestanden
- D. Geografische en ecologische gegevens
- E. Taxonomische en nomenclatorische beslissingen
- F. Het maken van taxonbeschrijvingen, behandelingen, illustraties en sleutels
- G. Het manuscript produceren en publiceren

A. Taxon-namen en literatuurstudie

Elk wetenschappelijk onderzoek begint met het verzamelen van informatie en gegevens. Voor een taxonomische bewerking is het noodzakelijk om alle protologen (originele publicaties) voor de betreffende namen te verzamelen. Dit is een cruciale stap, vooral in fase E, wanneer type-exemplaren moeten worden geïdentificeerd, geselecteerd en aan taxa toegewezen. Voor vaatplanten kan de website van IPNI (International Plant Name Index; <http://www.ipni.org>), en voor schimmels die van Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org>), meestal een lijst met alle namen en een referentie naar hun protologen leveren voor het relevante geslacht, hoewel voor regionale studies een verdere filtering nodig zal zijn. Let wel op dat IPNI tot 1971 geen gegevens over infraspecifieke taxa verzamelde! Sommige zijn nu wel ingevoerd, maar meestal zijn deze slechts te vinden door uitgebreid zoeken (internet en bibliotheken).

Vanuit de referenties naar de protologen kan men nu de betreffende publicaties opsporen door:

- het raadplegen van een goede, gespecialiseerde bibliotheek;
- het gebruik van websites die oudere taxonomische literatuur ontsluiten, zoals Botanicus (<http://www.botanicus.org>) of de Biodiversity Heritage Library (BHL) (<https://www.biodiversitylibrary.org>);
- andere internet-bronnen te gebruiken die namen linken aan hun protoloog; één van de beste is Tropicos (<http://www.tropicos.org>) van Missouri Botanical Garden, maar IPNI (zie hierboven) biedt deze service voor een deel van de namen ook aan, via een link naar BHL. Bepaalde families of groepen hebben actieve gemeenschappen die gespecialiseerde web-

sites onderhouden (bijv. <http://solanaceaesource.org>, <http://www.palm-web.org> of <http://caryophyllales.org>).

Scan of download de relevante pagina's en bewaar deze in een gemakkelijk doorzoekbaar systeem. Denk er ook aan om de volledige referentie (zie hieronder) te noteren! Dit is later ook nodig bij het publiceren van de resultaten.

Verzamel vervolgens alle relevante boeken en artikelen die betrekking hebben op de systematiek van het gekozen geslacht. Het is ook nuttig om relevante artikelen over de fylogenie, biogeografie, ecologie, enz. te bestuderen. Dit verhoogt het inzicht in het geslacht en zijn verwanten, met name het evolutionaire belang van sommige van de kenmerken. Gebruik beschikbare internet-zoekmachines en die van gespecialiseerde bibliotheken met de naam van uw taxon als trefwoord, samen met anderen zoals 'taxonomie', 'revisie', 'systematiek' enz. Start met de meest recente publicaties en bekijk de werken die zij citeren. Blader door hun paragraaf over de taxonomische en systematische geschiedenis van het geslacht, indien beschikbaar. Raadpleeg ook de Flora's die relevant zijn voor het studiegebied.

Het bestuderen van relevante literatuur zou een redelijk goed beeld moeten geven van de positie van het geslacht binnen de familie; welke geslachten nauw verwant zijn en welke kenmerken als onderscheidend en informatief worden beschouwd voor het afbakenen van soorten. Ook het doorlezen van identificatiesleutels om te zien welke kenmerken zijn gebruikt om soorten te onderscheiden, zal waarschijnlijk zeer de moeite waard blijken. Desalniettemin is het altijd belangrijk om een persoonlijke kijk op de variatie van de onderzochte groep te ontwikkelen.

Bij het lezen van de publicaties komt men waarschijnlijk vrij veel onbekende termen tegen, vooral in de morfologische beschrijvingen. In deze fase is een goede verklarende woordenlijst van cruciaal belang. Er bestaan verschillende goede en uitgebreide botanische woordenlijsten, zie het tekstblok aan het einde van het vorige hoofdstuk.

Vergeet bij het maken van aantekeningen uit publicaties niet de volledige referentie op te nemen! Het kan erg frustrerend en tijdrovend zijn wanneer men later niet meer weet waar men iets gelezen heeft.

Hier volgen enkele voorbeelden van literatuurreferenties voor de drie typen publicaties die het meest frequent voorkomen:

1. *Artikel in een tijdschrift:*

Soreng R.J., Peterson P.M., Davidse G., Zuloaga F.O., Judziewicz E.J., Filgueiras T.S., Davis J.I., Morrone O. (2015) A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). *Journal of Systematics and Evolution* 53(2): 117–137. <http://dx.doi.org/10.1111/jse.12150>

2. *Boek:*

Patil J.V. (2016) *Milletts and Sorghum: Biology and Genetic Improvement*. Chichester, John Wiley & Sons Ltd. 504 pp.

3. Hoofdstuk in een boek of seriewerk:

Clayton W.D. (1989) Gramineae. XXIV. Paniceae. In: Launert E., Pope G.V. (eds) *Flora Zambesiaca* 10(3): 1–192. London, Flora Zambesiaca Managing Committee.

Zet tot slot een documentatiesysteem of databank op, waarin voor elke taxonomische naam wordt aangegeven waar de protoloog te vinden is en wat het type-exemplaar is. Andere auteurs hebben mogelijk al aangegeven welk exemplaar het type is, maar dit moet altijd worden gecontroleerd. De protoloog zal in het algemeen de nodige informatie geven over het type (of de typen), maar zeker niet in alle gevallen. Zoeken naar type-exemplaren kan een tijdrovende bezigheid zijn! Dit geldt met name voor oudere namen, omdat het toen nog niet verplicht was om een type aan te geven. De meeste grote Herbaria hebben hun type-exemplaren gescand en gedigitaliseerd. Deze afbeeldingen zijn vaak beschikbaar op de website van JSTOR Global Plants: <https://plants.jstor.org>, en in het algemeen ook via de portalen van de individuele instituten. Merk op dat deze faciliteit alleen type-materiaal dat al als zodanig was gemarkeerd toont. Een behoorlijk aantal typen moet nog door taxonomen worden herkend of aangewezen. Het is vrij normaal om gedurende het maken van een bewerking type-exemplaren tegen te komen die eerder onopgemerkt waren gebleven.

b. Werken met herbariummateriaal

Allereerst moet opgemerkt worden dat herbariumexemplaren waardevolle en vaak onvervangbare wetenschappelijke objecten zijn, die ook nog broos zijn en gemakkelijk beschadigd raken! Ze moeten met de grootste zorg worden behandeld. Vraag altijd de betreffende Herbarium Curator naar de specifieke gebruiksinstructies.

Om het meeste herbariummateriaal dat elders beschikbaar is te kunnen raadplegen, moet een strategie worden bedacht. Tijdens fase A (taxonomische namen en literatuur) heeft men een redelijk goed beeld gekregen van de mondiale verspreiding van het geslacht en weet men nu waar de meeste soorten voorkomen. Omdat de meeste Herbaria een geografische focus hebben, kan men collega's raadplegen om erachter te komen in welke Herbaria waarschijnlijk het overgrote deel van het relevante materiaal aanwezig zal zijn. Men kan deze instellingen bezoeken of vragen het materiaal in bruikleen op te sturen aan de eigen instelling. Adressen en contactpersonen van Herbaria zijn te vinden op Index Herbariorum (<http://sweetgum.nybg.org/science/ih>). Houd er rekening mee dat het enkele maanden kan duren voordat een lening arriveert. Herbaria zullen over het algemeen niet meer dan enkele honderden exemplaren als lening verzenden, en ze kunnen beperkingen stellen met betrekking tot bepaalde landen. Een optie is dan om het Herbarium zelf te bezoeken.

Bij de start van een taxonomische studie is een behoorlijke hoeveelheid herbariumexemplaren nodig, dus vraag zo snel mogelijk om leningen. In sommige gevallen (dat wil zeggen wanneer men al een redelijke kennis heeft van de

gevallen (dat wil zeggen wanneer men al een redelijke kennis heeft van de betrokken groep), kunnen leningen al maanden vóór de daadwerkelijke start van de studie worden aangevraagd. Herbaria waar veel van het onderzoeksmateriaal aanwezig is, kunnen het beste worden bezocht, maar dit is vaak een kostbare aangelegenheid. Het zal over het algemeen het meest efficiënt zijn om ze te bezoeken wanneer men al een goede kennis heeft van de soorten/taxa binnen de groep. Een goed werkplan is dus essentieel.

Sommige herbaria hebben hun collecties online beschikbaar gemaakt (zie tekstblok aan het einde van dit hoofdstuk). Deze webservices bieden vaak bepaalde etiket-gegevens en scans met een hoge resolutie van het aanwezige materiaal. Dit is buitengewoon nuttig, maar de ervaring leert dat een onderzoeker in een behoorlijk aantal gevallen nog steeds de vellen zelf zal moeten bestuderen om gedetailleerde waarnemingen te kunnen doen.

Praktische tips voor het doen van morfologische waarnemingen aan herbariummateriaal

Plantenmorfologische waarnemingen kunnen worden uitgevoerd met een eenvoudige handlenz (10×) of met een binoculair die gewoonlijk tot 20(–50)× vergroot. Het zeer broze materiaal kan weer flexibel worden gemaakt door het een korte tijd in kokend water te leggen. Vraag altijd aan de curator of u hiervoor kleine onderdelen van het herbariummateriaal mag afbreken! Afhankelijk van de stevigheid van het materiaal kan dit opweken 20 seconden tot 3 minuten duren. Voor zeer stevig materiaal voegt u een druppel afwasmiddel toe aan het water, om het weefsel zachter te maken. Een elektrische laboratoriumverwarmer, zoals weergegeven in figuur 20, is redelijk veilig in het gebruik, maar een elektrisch kookplaatje van goede kwaliteit en een klein ijzeren kommetje werken ook. Men heeft een paar prepareernaalden, een pincet, een scheermesje en petrishaaltjes nodig om het materiaal te kunnen uitprepareren, b.v. onder een binoculair. Zodoende kan de vaak verborgen binnenkant van bloemen worden bestudeerd, vruchtbeginsels opengesneden en zelfs blad- of houtanatomische kenmerken onthuld.

Na bestudering van materiaal afkomstig van een herbariumexemplaar moeten alle onderdelen, ook die welke werden ontleed, weer terug op het herbariumvel worden bevestigd. Gekookt materiaal moet opnieuw worden gedroogd (gebruik absorberend papier om het snel te laten drogen). Alle onderdelen worden vervolgens in een zakje geplaatst, dat wordt vastgelijmd of vastgemaakt aan het juiste herbariumvel.

Wanneer materiaal, zoals stuifmeel of een stuk blad voor DNA-extractie, niet terugkeren naar het exemplaar (dit wordt destructieve bemonstering genoemd), wordt van de onderzoeker verwacht dat hij/

zij een etiket op het monster aanbrengt met de vermelding wat er is verwijderd, met welk doel, door wie en wanneer. Nogmaals, vraag eerst toestemming aan de curator!

Voor eigen waarnemingen is het raadzaam om een tabel op te stellen waarin voor elk exemplaar alle waarnemingen en metingen worden genoteerd (een Excel-tabel is prima, zie hieronder). Het is beter om ze niet samen te vatten per taxon, aangezien in dit stadium van het onderzoek exemplaren nog van taxon kunnen veranderen.

Voor schimmels is de voorbereiding voor observaties met een microscoop vrij specifiek en wordt gedetailleerd uitgelegd in Eyi et al. (2011).



*△ Figuur 20.
Voorbeeld van een eenvoudig apparaat om een bakje met water te koken.*

c. Databestanden

Wanneer een taxonomische bewerking gebruik maakt van enkele honderden exemplaren of meer, is het de moeite waard om de exemplaargegevens in een database in te voeren. Dit kan een eenvoudige tabel zijn in een spreadsheet (bijv. Excel) of een relationele database met meerdere tabellen (bijv. Access), maar veel instituten hebben hun eigen database-systeem. Deze systemen hebben vaak meer velden dan nodig voor een specifieke studie, dus bedenk voor-

af welke nuttig zijn. Hieronder staat een voor een taxonomische bewerking minimale set:

- Barcode
- Hoofdverzamelaar (bij voorkeur achternaam en voorletters in aparte velden)
- Additionele verzamelaar(s)
- Voorvoegsel (sommige verzamelaars voegen vóór het verzamelnummer een code of nummer toe dat verwijst naar een bepaalde onderzoeksmissie, het verzameljaar of een project)
- Verzamelnummer
- Achtervoegsel (elke code die achter het verzamelnummer staat, zie voorvoegsel)
- Verzameldatum
- Land
- Locatie
- Breedtegraad
- Lengtegraad
- Habitat
- Hoogte boven zeeniveau
- Gebruik
- Inlandse namen
- Familie
- Geslacht
- Soort
- Auteur(s)
- Infrascifiek niveau (ondersoort, variëteit, forma)
- Infrascifieke naam
- Infrascifieke auteur(s)
- Geïdentificeerd door
- Identificatiedatum
- Herbarium-code
- Type van
- Opmerkingen

Vaak zullen Herbaria waarvan de exemplaren al gedigitaliseerd zijn, bereid zijn om hun gegevens in een digitaal formaat toe te sturen. Deze kunnen, na enkele noodzakelijke aanpassingen, dan worden toegevoegd aan uw eigen database.

D. Geografische en ecologische gegevens

Een soort kan een klein tot groot verspreidingsgebied hebben, wat over het algemeen gerelateerd is aan de breedte van haar ecologische tolerantie. Een

soort die beperkt is tot een bepaald gebied, is **endemisch** voor dat gebied. Een soort kan endemisch zijn voor een berg, een nationaal park, een provincie, een land, een continent, enz. (en alle soorten zijn endemisch voor de planeet Aarde!). Dus simpelweg opmerken dat een soort endemisch is zonder verwijzing naar de regio, is zinloos.

D.1 *Het maken van kaarten*

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 (de paragraaf over soortvorming), kan informatie over de geografische spreiding en/of ecologische voorkeuren nuttig zijn bij het nemen van taxonomische beslissingen. Het is daarom zinvol om de distributie van nauw verwante taxa te onderzoeken door hun vindplaatsen op een kaart uit te zetten.

Om een herbariumexemplaar op een kaart te kunnen uitzetten, heeft men de geografische coördinaten (breedtegraad, lengtegraad) van de verzamelloccatie nodig. Als dit niet op het etiket staat, kunnen de coördinaten worden verkrijgen met behulp van diverse internetsites (zie tekstblok aan het einde van dit hoofdstuk), topografische kaarten (vaak historische) of zelfs door het opsporen van expeditieverslagen. Dit proces heet **georeferencing**. De meeste hedendaagse verzamelaars gebruiken in het veld een GPS (Global Positioning System), terwijl anderen mogelijk de lat./long. hebben afgelezen van een topografische kaart. Het kan belangrijk zijn om de *precisie* van de coördinaatgegevens toe te voegen. Wanneer een verzamelaar "15 km ten westen van Nairobi" aangeeft en wetende dat die stad een diameter heeft van ongeveer 10 km, kan men zich afvragen of men moet tellen vanaf de rand van de stad of vanaf het centrum, en of men in rechte lijn moet meten, of langs de hoofdweg die Nairobi in westelijke richting verlaat? Om nog maar te zwijgen van het feit dat Nairobi zo'n 50 jaar geleden een veel kleinere oppervlakte besloeg dan nu. Een coördinaat kan dan dus tot op enkele meters of slechts tot op enkele kilometers of meer nauwkeurig zijn.

Weet ook dat er verschillende coördinatensystemen zijn! Deze zijn gerelateerd aan verschillende 'projecties', of manieren waarop de ronde aarde op een platte kaart is weergegeven. Er zijn ook verschillende manieren om coördinaten te noteren. Het door taxonomen meest gebruikte coördinatensysteem, is graden, minuten en seconden, maar in sommige regio's heeft het UTM-coördinatensysteem (Universal Transverse Mercator) de voorkeur. Merk ook op dat sommigen een normaal DMS-formaat (graden, minuten, seconden) kunnen gebruiken, bijvoorbeeld 15°12'55"N 30°21'32"E, terwijl anderen de voorkeur geven aan DD (decimale graden), bijv. 1,247°N 25,873°E of DM (decimale minuten), bijvoorbeeld 11°34,75'N 25°21,30'E. Een aantal online services (bijvoorbeeld <http://www.synnatschke.de/geo-tools/coordinate-converter.php>) maken het mogelijk om gemakkelijk coördinaten van de verschillende systemen te converteren.

Men moet altijd voorzichtig zijn wanneer coördinaten rechtstreeks van een herbariumetiket worden overgenomen. Deze zijn vaak genoteerd zonder informatie over de gebruikte projectie en soms in een foutief format, bijv. met

waardes van minuten en seconden die groter zijn dan 60. Een veelgemaakte fout is ook het omkeren van de aanduidingen Noord/Zuid of Oost/West. De opgegeven coördinaten kunnen best worden vergeleken met de beschrijving van de vindplaats.

Google Earth is ook een handig hulpmiddel om de lat./long. van een vindplaats te achterhalen, maar oudere collecties hebben soms plaatsnamen die niet meer in gebruik zijn. Voor sommige regio's is een gepubliceerde index van locaties waar planten werden verzameld beschikbaar en sommige websites tonen historische kaarten (zie tekstblok aan het einde van dit hoofdstuk). Vaak hebben bibliotheken van natuurhistorische instituten een goede verzameling historische kaarten, verzamelregisters (verzamelboekjes van de verzamelaars) of Gazetteers (een boek, meestal per land, met alle plaatsnamen, inclusief rivieren, bergen, etc., met hun lat./long. aanduiding). Online gazetteers, zoals GeoNames (zie tekstblok aan het einde van dit hoofdstuk), zijn ook een goede manier om naar locaties te zoeken, omdat ze vaak ook de historische namen van plaatsen hebben en 'fuzzy' zoekopties toestaan. Daarnaast zal een verzamelaar op dezelfde plaats vaak meerdere exemplaren hebben verzameld en dus kan de lat./long. voor die specifieke plaats al eerder door iemand anders zijn bepaald. Controleer websites die dergelijke gegevens online aanbieden, met name van een instituut waar duplicaten van een bepaalde verzamelaar zijn gedeponeerd. Sommige databases bieden de mogelijkheid om voor een specifieke nummerreeks van een verzamelaar de reisroute te tonen, wat erg handig kan zijn bij het vinden van de juiste informatie.

Het uitzetten van de exemplaren op een kaart kan met behulp van Google Earth, maar als u een verspreidingskaart van hoge kwaliteit wilt maken, bijv. voor een publicatie, kan beter andere software worden gebruikt (bijv. DivaGis, QGIS of ArcView).

D.2 *Ecologische waarnemingen*

Etiketten van herbarium-exemplaren bevatten vaak informatie over de ecologie en hoogte boven zeeniveau. De ecologische geven doorgaans slechts een vrij grove habitatbeschrijving. Deze gegevens kunnen hooguit een taxonomische beslissing ondersteunen. Beter is om een persoon die kundig is in het modelleren van ecologische niche, (Species Distribution Modeling) te vragen de niche-waardes van een soort te berekenen op basis van haar verspreiding. Zo kan zelfs worden vastgesteld of deze wezenlijk verschilt van die van een andere soort. Dergelijke analyses kunnen extra ondersteuning bieden voor een taxonomische beslissing, maar zijn complex en vereisen vaak aanvullende vaardigheden en expertise.

E. **Taxonomische en nomenclatorische beslissingen**

Nadat alle morfologische, geografische, ecologische en mogelijk andere waarnemingen zijn uitgevoerd, kan men de herbariumexemplaren groeperen in een aantal voldoende homogene stapels. Elke stapel materiaal vertegenwoordigt

een taxon dat verschilt van de andere stapels op basis van de waarnemingen. Nu moet voor elke stapel het niveau van het taxon worden bepaald, dus is het een soort, ondersoort, variëteit of vorm, met behulp van de criteria die zijn beschreven in hoofdstuk 2. De resulterende lijst van taxa is de hypothese voor het juiste taxonomische raamwerk van de bestudeerde groep. Wanneer dit afwijkt van eerder gepubliceerde hypothesen, kan en moet men deze verschillen ook bespreken.

Vaak wordt gesteld dat bij deze manier van taxon-afbakening het concept van de morfologische soort wordt toegepast (zie hoofdstuk 2). Wanneer we echter nadenken over wat moderne taxonomen eigenlijk doen, kunnen we concluderen dat ze in feite morfologische, geografische en ecologische gegevens proberen te interpreteren in termen van een biologisch soortconcept dat is gebaseerd op niet-kruisende populaties. Wanneer een 'stapel' exemplaren unieke morfologische kenmerken heeft, neemt men aan dat ze zijn ontstaan uit een unieke genetische basis. Die kan alleen apart blijven bestaan wanneer er geen kruising plaatsvindt. Hetzelfde geldt voor geografische en ecologische informatie. Een taxonoom interpreteert dergelijke gegevens over het algemeen in het licht van de mogelijkheid van de uitwisseling van genen. Concluderend zou men kunnen stellen dat de op herbariumexemplaren gebaseerde taxonomie van planten en schimmels (maar ook die gebaseerd op dierlijke collecties) een biologisch soortconcept probeert toe te passen door interpretatie van morfologische en andere waargenomen patronen. Het uitvoeren van moleculaire studies, om te bepalen of de verschillende soorten reproductief geïsoleerd zijn, wordt aangemoedigd, maar valt buiten het bestek van dit hoofdstuk.

Het is vrij gebruikelijk om exemplaren te vinden met kenmerken die intermediair zijn tussen twee taxa. Dit kan wijzen op het optreden van het uitwisselen van genen tussen de morfologische groepen. Bedenk echter dat bij planten hybriden niet zeldzaam zijn en ze verstoren niet noodzakelijk het voorgestelde taxonomische kader. Wanneer dergelijke tussenvormen echter regelmatig voorkomen, zal dit de juistheid van de taxonomische hypothese in twijfel trekken en dat kan leiden tot een her-evaluatie. Bij het interpreteren van patronen van morfologische variatie moet men in gedachten houden dat we slechts een korte periode binnen een groter evolutionair proces waarnemen.

Nadat het nieuwe taxonomische raamwerk definitief is, is de volgende stap het vaststellen van de juiste wetenschappelijke naam voor elk taxon, ofwel elke stapel met materiaal. Nu moeten de nomenclatorische beslissingen worden genomen.

Alle type-exemplaren van alle namen, soorten en infraspecifieke taxa, dienen gelokaliseerd te worden, en er moet worden bepaald in welke stapel materiaal ze terecht zijn gekomen (zelfs voor die types die niet fysiek aanwezig zijn!). De type-exemplaren in elke stapel vertegenwoordigen de mogelijke namen die in aanmerking moeten worden genomen voor dat specifieke taxon. Het volgen van de regels van de ICN, zoals beschreven in hoofdstuk 3, moet dan leiden tot het identificeren van de geaccepteerde naam en de eventuele synoniemen daarvan. Elke stapel zonder type-exemplaar is een nieuw taxon dat formeel moet worden beschreven.

f. Het maken van taxonbehandelingen, beschrijvingen, illustraties en sleutels

Binnen een taxonomische bewerking begint de formele behandeling van een taxon met het nomenclatorische deel. Voorop staat de geaccepteerde naam, gevolgd door de homotypische synoniemen, in chronologische volgorde, beginnend met de oudste naam, ofwel het basionym, en de gegevens met betrekking tot het type-exemplaar. Dan volgen, indien aanwezig, de heterotypische synoniemen, elk met hun eventuele homotypische namen, in chronologische volgorde, met hun bijbehorende gegevens van het type-exemplaar (zie voorbeeld in het tekstblok).

Bij het publiceren van een nieuwe taxonnaam moet men aan alle eisen van de ICN voldoen, zodat de naam geldig is (zie hoofdstuk 3).

Het nomenclatorische deel wordt meestal gevolgd door de morfologische beschrijving. De beschrijving van een taxon moet duidelijk, nauwkeurig en voldoende gedetailleerd zijn. Het bevat de gegevens waarop de taxonomische hypothesen zijn gebaseerd. De structuur van de beschrijving is meestal voor alle behandelde taxa identiek, om vergelijking te vergemakkelijken. Dit betekent dat elk kenmerk dat in de ene taxonbeschrijving wordt genoemd, ook in alle andere moet voorkomen. Controleer ook altijd of alle kenmerken die in de identificatiesleutel worden gebruikt (zie hieronder) zijn opgenomen. Vage of relatieve terminologie, zoals "tamelijk dicht behaard" of "vrij lang", moet worden vermeden. Voor tweedimensionale vormen is het raadzaam om de gestandaardiseerde set termen te gebruiken die zijn verstrekt door de Systematics

Voorbeeld van het nomenclatorisch deel van een taxon-behandeling:

Urochloa dictyoneura (Fig. & De Not.) Veldkamp (Veldkamp 1996: 418). -- *Panicum dictyoneurum* Fig. & De Not. (Figari & De Notaris 1854: 329). -- *Bracharia dictyoneura* (Fig. & De Not.) Stapf (Stapf 1919: 512). -- Type: Soudan, Kordofan, Fazogl, Figari s.n. (holo-: FI).

Panicum golae Chiov. (Chiovenda 1914: 43). -- Type: DRC, Catanga, Kayoyo, 20-XII-1911, Bovone 87 (holo-: FI).

Panicum humidicola Rendle (Rendle 1899: 169). -- *Bracharia humidicola* (Rendle) Schweick. (Hubbard & al. 1936: 297). -- *Urochloa humidicola* (Rendle) Morrone & Zuloaga (Morrone & Zuloaga 1992: 80). -- *Bracharia dictyoneura* (Fig. & De Not.) Stapf subsp. *humidicola* (Rendle) Catasús (Catasús Guerra 2001: 16). -- Type: Angola, Monino riv., Welwitsch 2678 (holo-: LISU, iso-: K).

matics Association Committee for Descriptive Biological Terminology (1962). Beschrijvingen volgen een logisch format, waarbij de verschillende elementen in een specifieke volgorde worden behandeld: plant - wortel/stengel - bladeren - bloeiwijze - bloem – vrucht - zaad. Binnen deze elementen is de volgorde van onder naar boven en van buiten naar binnen. Voor elk apart orgaan wordt hier een goede volgorde voor de beschrijvende kenmerken gegeven: aantal elementen - positie - algehele vorm - afmetingen - basis/top/rand - textuur - kleur en glans - oppervlak (glad, ruw) – beharing en/of aanhangsels. Zie het tekstblok hiernaast voor meer informatie.

Voor het maken van beschrijvingen van schimmels is een richtlijn gepubliceerd (Eyi *et al.* 2011), in het Frans, die vergelijkbaar is met die in het tekstblok, en deze kan gratis worden gedownload via <http://www.abctaxa.be/volumes/volume-10-les-champignons-comestibles-de-l-afrique-centrale>.

Bij een taxonomische bewerking wordt de beschrijving gevolgd door één of meerdere paragrafen over de verspreiding, ecologie, volksnamen, gebruik, zaadverspreiding, enz. Ook kunnen hier relevante herbariumexemplaren worden geciteerd, of opgenomen worden als bijlage of als aanvullend materiaal. Het specifieke format van deze exemplaar-lijsten varieert per auteur en tijdschrift (zie volgende paragraaf). Er kan ook een verspreidingskaart worden toegevoegd.

Vervolgens kunnen er eventuele opmerkingen worden toegevoegd, b.v. met de argumenten voor de taxonomische beslissingen en/of de gemaakte keuzes met betrekking tot de typificatie van namen, enz.

Het is raadzaam om botanische illustraties toe te voegen. Deze zijn van onschatbare waarde tijdens het identificatieproces en helpen de gebruiker bij het begrijpen van de diagnostische kenmerken van de taxa. Men kan deze illustraties zelf maken, maar meestal is het beter om een bekwame botanisch illustrator te vragen. Om zo'n illustrator te worden is niet alleen talent vereist, maar het vergt ook een aanzienlijke tijdsinvestering. Men kan specifieke cursussen volgen of relevante boeken over het onderwerp bestuderen. In sommige landen hebben botanisch kunstenaars verenigingen opgericht waarvan men lid kan worden (bijv. <https://www.botanicalartandartists.com> voor Engeland, <https://www.botanischkunstenaarsnederland.nl> voor Nederland en de Société Française d'Illustration Botanique, <http://www.sfib.fr>, voor Frankrijk).

Ten slotte moet er een identificatiesleutel voor de bestudeerde taxa worden opgesteld. De sleutel moet praktisch zijn en de gebruiker helpen bij het identificatieproces. Gebruik bij voorkeur kenmerken die gemakkelijk te observeren zijn. Voor andere suggesties, zie Hoofdstuk 4.

g. Het manuscript produceren en publiceren

Wanneer het taxonomische deel van het onderzoek (behandeling van het geslacht, sleutel tot de soorten, behandeling van soorten, kaarten, illustraties, enz.) is voltooid, moet het manuscript worden voorbereid voor publi-

Model voor een goed-gestruktureerde plantbeschrijving:

Plant type, hoogte, geslachtsverdeling, melksap, andere kenmerken overeenkomstig voor verschillende elementen, beharing; stam en takken: diameter, vorm, structuur, beharing, schors of oppervlak; twijgen en/of knoppen: zoals voor stam en takken.

Steunblaadjes: aanwezig/afwezig, positie, vorm, afmetingen, basis/top, beharing, kleur.

Bladeren: positie, eenvoudig of samengesteld; schede: positie, vorm, afmetingen; stipellae: zie steunblaadjes; bladsteel: vorm, lengte, beharing; bij samengestelde bladeren: rachis: lengte, articulaties; bladsteeltjes: zie bladsteel; deelblaadjes: aantal, zie bladschijf; bladschijf (eenvoudig of samengesteld): vorm, afmetingen, basis/top/rand, beharing, textuur, kleur; boven- en onderzijde; type nervatuur; hoofdnerf: verzonken of opliggend; zijnerfen: aantal; tertiaire nervatuur type.

Bloeiwijze: positie, één- of tweeslachtig, structuur, vorm en/of maten, aantal bloemen; bloeiwijzesteel: maten, beharing; bloeiwijze-assen: positie, beharing; schutbladen: positie, vorm, maten, beharing.

Bloem: positie, symmetrie, geur; wanneer bloemen éénslachtig eerst mannelijke dan vrouwelijke beschrijven; bloemsteel: maten, beharing; steelblaadjes: positie, vorm, maten, beharing; bloemknoppen: vorm, afmetingen; hypanthium: vorm, afmetingen; bloemdek: aantal verschillende kransen; kelkbladen: aantal, vrij of vergroeid, positie, vorm, afmetingen, kleur, textuur, top, rand, beharing; kroonbladen/tepalen: zie kelkbladen; discuss: nectariën of klieren, positie, vorm, afmeting, kleur; androecium: type, positie; meeldraden: aantal, positie (waar ingeplant); helmraden: lengte, kleur, beharing; helmknoppen: hoe aangehecht, hoe opspringend, vorm, afmetingen, kleur; connectief: vorm, afmeting; staminodiën: zie meeldraden; stamper: positie, aantal, beharing; vruchtbeginsel: aantal, positie, vorm, afmeting, beharing, aantal hokken, type placentatie; zaadknoppen: aanhechting, aantal; stijl: positie, aantal, vorm, dimensie, kleur, beharing; stempel: positie, aantal, vorm, afmeting, kleur.

Vruchtwijze: zie bloeiwijze.

Vrucht: type, hoe opspringend, vorm, afmeting, kleur, oppervlak, beharing, aantal zaden; peri-, exo- en endocarp: structuur, dimensie, kleur.

Zaad: vorm, afmeting, kleur, oppervlak; arillus/zaadhuid: structuur, afmeting, kleur; endosperm, zaadlobben, kiem, kiemwortel.

Kenmerken gegeven voor een hogere rang, bijv. een geslacht of familie, hoeven niet te worden herhaald in de beschrijving van een taxon op lagere rang.

catie. Wanneer de bewerking in een Flora wordt opgenomen, is vaak het taxonomische deel alles wat nodig is. Wanneer men de resultaten echter als artikel in een wetenschappelijk tijdschrift wil publiceren, zullen er diverse andere paragrafen moeten worden toegevoegd. Sommige zijn algemeen, bijv. Inleiding, Materialen en Methoden, andere zijn typisch voor een taxonomische bewerking, bijv. Geschiedenis van het geslacht, wat een historisch overzicht geeft van eerdere studies en hun bijdragen aan het taxonomische raamwerk van het geslacht.

Belangrijke factoren waarmee rekening gehouden moet worden bij het kiezen van een geschikt tijdschrift zijn: Impact Factor, regionale impact, of het Open Access publicatie biedt of niet, en de publicatiekosten. Voor taxonomische bewerkingen is het belangrijk om te controleren of het tijdschrift het citeren van alle exemplaren accepteert (en zo ja in welk format). Aangezien taxonomische bewerkingen relatief lang kunnen zijn, kan het belangrijk zijn na te gaan of er paginabeperkingen gelden.

Ten slotte is het gebruikelijk om alle herbaria (en hun curatoren) die toegang hebben verleend tot hun collecties of exemplaren in bruikleen hebben gestuurd te vermelden in het Dankwoord. Over het algemeen stellen ze het zeer op prijs een kopie van de gepubliceerde bewerking te ontvangen.

Het verzamelen van planten

- Fish L. (2004) La préparation des échantillons d'herbier. Scripta Botanica Belgica 31: 92 p. ISBN 9072619633
- Bridson D., Forman L. (2000) The herbarium handbook, 3rd edition. Richmond, Royal Botanic Gardens, Kew. EAN: 9781900347433

Historische literatuur (erg nuttig bij het terugvinden van protologen)

- Biodiversity Heritage Library: <https://www.biodiversitylibrary.org>
- Botanicus: <http://www.botanicus.org>
- Taxonomic Literature: <http://www.sil.si.edu/DigitalCollections/tl-2>
- B-P-H: Botanico-Periodicum-Huntianum (Journal titles and their standard abbreviations): http://fmhibd.library.cmu.edu/fmi/iwp/cgi?-db=B-PH_2015&-loadframes

Index Herbariorum

- <http://sweetgum.nybg.org/science/ih>

Informatie over gebruik van planten

- Plant Resources of Tropical Africa: <https://www.prota4u.org/database>
- PlantUse: <https://uses.plantnet-project.org/fr/Accueil>

Digitale herbaria en collectie-informatie

- Global Biodiversity Information Facility (GBIF): <https://www.gbif.org>
- Meise Botanic Garden, Belgium (BR): <http://www.botanicalcollections.be>
- MNHN Paris herbarium (P): <https://science.mnhn.fr/institution/mnhn/collection/p/item/search>
- Naturalis herbarium, The Netherlands (L, U, WAG, AMS): <https://bioportal.naturalis.nl>
- Tropicos, Missouri Botanical Garden, St. Louis (MO): <http://www.tropicos.org>

Georeferencing

- AFRITERRA (historical maps of Africa): <http://catalog.afriterra.org>
- Cartesius (historical maps of Belgium and Central Africa): <http://www.cartesius.be/CartesiusPortal>

- GEOLocate (A platform for georeferencing natural history collections data): <https://www.geo-locate.org>
- GeoNames (finding place names, also historical ones): <https://www.geonames.org>
- Google Earth (free software to view the globe): <http://www.google.co.uk/earth/download/gep/agree.html>

Literatuurreferenties



- Angiosperm Phylogeny Group (2016) An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society* 181: 1–20.
- Bridson D., Forman L. (eds) (2010) *The herbarium handbook*, 3rd ed. Richmond, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Brummitt R.K. (2002) How to chop up a tree. *Taxon* 51: 31–41.
- Brummitt R.K., Powell C.E. (eds) (1992) *Authors of plant names. A list of authors of scientific names of plants, with recommended standard form of their names including abbreviations*. London, Royal Botanic Gardens, Kew.
- Darwin C. (1859) *On the origin of species*. London, J. Murray.
- Eyi Ndong H., Degreef J., De Kesel A. (2011) Champignons comestibles des forêts denses d'Afrique centrale, Taxonomie et identification. In: Degreef J. (éd.) *Abc Taxa*, volume 10. Brussels, Belgian National Focal Point to the Global Taxonomy Initiative.
- Fish L. (1999) Preparing herbarium specimens. *Strelitzia* 7: 4–44.
- Fish L. (2004) La préparation des échantillons d'herbier. *Scripta Botanica Belgica* 31. Meise, Jardin botanique national de Belgique.
- Ghorbani A., Wieringa J.J., Boer H.J. de, Porck H., Kardinaal A., Andel T. van (2018) Botanical and floristic composition of the historical herbarium of Leonhard Rauwolf collected in the Near East (1573–1575). *Taxon* 67(3): 565–580.
- Grant V. (1981) *Plant speciation*, 2nd ed. New York, Columbia University Press.
- Holmes S. (2003) Bootstrapping phylogenetic trees: Theory and methods. *Statistical Science* 18(2): 241–255.
- Hörandl E. (2006) Paraphyletic versus monophyletic taxa—evolutionary versus cladistic classifications. *Taxon* 55: 564–570.
- Magnin-Gonze J. (2009) *Histoire de la botanique*. Paris, Delachaux & Niestlé.
- Meier R. (2008) DNA sequences in taxonomy: Opportunities and challenges. In: Wheeler Q.D. (ed.) *The new taxonomy*: 95–127. Boca Raton, CRC Press.
- Michener C.D., Corliss J.O., Cowan R.S., Raven P.H., Sabrosky C.W., Squires D.S., Wharton G.W. (1970). *Systematics in support of biological research*. Washington D.C., National Research Council, Division of Biology and Agriculture.
- Pavord A. (2005) *The naming of names: the search for order in the world of plants*. New York, Bloomsbury.
- Podani J. (2010) Monophyly and paraphyly: A discourse without end? *Taxon* 59(4): 1011–1015.
- Pometti C.L., Cialdella A.M., Vilardi J.C., Saidman B.O. (2007) Morphometric analysis of varieties of *Acacia caven*: (Leguminosae, Mimosoideae): Taxo-

- onomic inferences in the context of other Argentinean species. *Plant Systematics and Evolution* 264: 239–249.
- Queiroz K. de (2006) The PhyloCode and the distinction between taxonomy and nomenclature. *Systematic Biology* 55(1): 160–162.
- Raven P. (2004) Taxonomy: where are we now? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 359: 729–730.
- Rouhan G., Gaudeul M. (2014) Plant taxonomy: A historical perspective, current challenges, and perspectives. In: Besse P. (ed.) *Molecular plant taxonomy: Methods and protocols*, vol. 1115: 1–37. New York, Springer Science & Business Media.
- Sokal R.R., Sneath P.H.A. (1963) *Principles of numerical taxonomy*. New York, W.H. Freeman & Co.
- Soltis P.S., Soltis D.E. (2009) The role of hybridization in plant speciation. *Annual Review of Plant Biology* 60(1): 561–588.
- Sosef M.S.M. (1997) Hierarchical models, reticulate evolution and the inevitability of paraphyletic taxa. *Taxon* 46: 75–85.
- Stace C.A., Preston C.D., Pearman D.A. (2015) *Hybrid flora of the British Isles*. Durham, Botanical Society of Britain & Ireland.
- Stuessy T. (2009) *Plant taxonomy, the systematic evaluation of comparative data*. New York, Columbia University Press.
- Systematic Association Committee for Descriptive Biological Terminology (1962) II. Terminology of simple symmetrical plane shapes, Chart 1. *Taxon* 11: 145–156.
- Thiers B. (continuously updated). *Index Herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff*. New York Botanical Garden's Virtual Herbarium. <http://sweetgum.nybg.org/ih/>
- Turland N.J., Wiersema J.H., Barrie F.R., Greuter W., Hawksworth D.L., Herendeen P.S., Knapp S., Kusber W.-H., Li D.-Z., Marhold K., May T.W., McNeill J., Monro A.M., Prado J., Price M.J., Smith G.F. (eds) (2018) *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) adopted by the Nineteenth International Botanical Congress Shenzhen, China, July 2017*. *Regnum Vegetabile* 159. Glashütten, Koeltz Botanical Books.
- Victor J., Koekemoer M., Fish L., Smithies S., Mössmer M. (2004) *Herbarium essentials: the southern African herbarium user manual*. SABONET Report No. 25. Pretoria, SABONET.
- Vorontsova S.M., Knapp S. (2016) A revision of the spiny solanums, *Solanum* subgenus *Leptostemonum* (Solanaceae), in Africa and Madagascar. *Systematic Botany Monographs* 99. London, The Natural History Museum.
- Wiley E.O. (1978) The evolutionary species concept reconsidered. *Systematic Biology* 27(1): 17–26.
- World Conservation Monitoring Centre (1992) *Global biodiversity: Status of the earth's living resources*. London, Chapman & Hall.

Verantwoording van foto's

Figuur 1. Standbeeld van Theophrastus in de botanische tuin van Palermo, Italië (foto door tato grasso - Eigen werk (persoonlijk werk), CC BY-SA 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3170845>).

Figuur 2. Plinius de Oudere (van: <https://www.britannica.com/biography/Pliny-the-Elder/images-videos/media/1/464822/234312>, geraadpleegd op 16 augustus 2019).

Figuur 3. Dioscorides (van: De Desconocido - <http://huntbot.andrew.cmu.edu>, Dominio público, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3607187>).

Figuur 10. Charles Darwin (van <http://www.charlesdarwin.net/biography.jsp>; geraadpleegd op 16 augustus 2019).



9 789492 663238 >