

# De toekomst van het Zoölogisch-Systematisch onderzoek in Nederland

een visie op de ontwikkelingen in het vakgebied en een advies voor herijking  
van de Nederlandse inspanningen

R. W. M. (Rob) van Soest & J. W. (Pim) Arntzen

Amsterdam & Leiden, 15 januari 2005

## Inhoud

Samenvatting	3
Inleiding en huidige situatie	4
<i>Systematiek als biologische discipline</i>	4
<i>Waarom Systematiek ?</i>	4
<i>Maatschappelijke belangstelling</i>	5
<i>Systematiek en collecties</i>	5
<i>Zoölogische Systematiek</i>	5
<i>Huidige onderzoekssituatie</i>	6
<i>Achteruitgang onderzoekscapaciteit Zoologische Systematiek in Nederland</i>	7
<i>Positieve ontwikkelingen</i>	8
<i>Conclusies</i>	9
Lange termijn visie op de toekomst van het Zoologisch Systematisch onderzoek	10
- <i>Ontwikkeling van 'Taxonomy as a Web-based science'</i>	10
De naaste toekomst van de Nederlandse Zoölogische Systematiek	13
<i>Randvoorwaarden</i>	13
<i>Samenwerkende instellingen</i>	13
<i>Nationale ambities</i>	13
<i>Sterktepunten in expertise</i>	14
<i>Collectieprofielen</i>	15
<i>Internationale ambities</i>	16
<i>Opleidingseisen voor toekomstige systematici</i>	16
<i>Meerjaren onderzoeksplan</i>	17
<i>Financiering</i>	20
<i>Organisatie-structuur van het Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit</i>	21

## Samenvatting

De Biologische Systematiek kent nieuwe uitdagingen vanuit de huidige biodiversiteitscrisis. De nieuwe mogelijkheden van informatie technologie, het beschikbaar komen van moleculaire markers, en het on-line verspreiden van haar producten vormen veelbelovende instrumenten om biodiversiteitsvraagstukken aan te pakken, ingebed in nationale en internationale netwerken. Het Nederlands diersystematisch onderzoek is niet adequaat toegerust om deze nieuwe uitdagingen aan te gaan. Zij heeft te maken met zowel recente als aangekondigde reorganisaties, budgetkortingen op het beheer van de omvangrijke collecties en het kampt met een aanzienlijke vergrijzing door langdurig niet opvullen van vrijgekomen posities. De capaciteit voor diersystematisch onderzoek in Nederland is verdeeld over een door Cultuur gefinancierde nationale instelling - het National Natuurhistorisch Museum Naturalis - en enkele door Wetenschap indirect gefinancierde universitaire instellingen waaronder als voornaamste het Zoölogisch Museum van de Universiteit van Amsterdam. Een visie op de toekomst van de Zoölogische Systematiek wordt gepresenteerd waarin drie uitdagingen zijn geïdentificeerd, waarop de Nederlandse inspanning zou moeten worden gericht: (1) de ontwikkeling van 'Taxonomy as a Web-based science', (2) ontwikkeling en bijdrage aan moleculaire identificatie ('barcoding'), en (3) de molecularisering van het verwantschapsonderzoek, zijnde de allesomvattende basis voor taxonomie, biogeografie en biodiversiteitsonderzoek. Het bundelen van de bestaande onderzoeksgroepen in een Centrum voor (Zoölogische) Biodiversiteit zou de negatieve spiraal kunnen helpen doorbreken en een aanpak van de nieuwe uitdagingen mogelijk maken. Hier wordt een voorstel gepresenteerd voor een vijfjarige aanlooperperiode waarin ervaring zal worden opgedaan met een gebundelde onderzoeksinspanning en financiering van het diersystematisch onderzoek in Nederland rond een tweetal fundamentele onderzoeksvragen. De aanlooperperiode dient tevens tot het realiseren van de fysieke bundeling van collectiefaciliteiten.

## **Inleiding en beschrijving huidige situatie**

### *Systematiek als biologische discipline*

Systematiek is de biologische discipline gericht op het ontdekken, beschrijven, naamgeven en classificeren van het leven op aarde ('taxonomie' in engere zin), gebaseerd op hypothesen van evolutionaire verwantschap (fylogenie). Het vakgebied maakt gebruik van gespecialiseerde instrumenten en methoden zoals ultramicroscopie, genoom-sequencing en geavanceerde statistiek en database technologieën, om verschillen en overeenkomsten in morfologie, verwantschap, verspreiding en verspreidingsgeschiedenis tussen taxa te documenteren en te reconstrueren, en producten te genereren voor gebruik door de maatschappij en andere wetenschappelijke disciplines.

### *Waarom Systematiek ?*

Systematiek levert bouwstenen voor alle biologisch onderzoek in de vorm van een stabiele naamgeving en heldere afbakening van nu en in het verleden levende organismen. Biodiversiteitsonderzoek, waarin verscheidenheid van taxa centraal staat, is cruciaal afhankelijk van de beschikbaarheid van systematische monografieën en (moleculaire) fylogenieën waaruit het onderscheid en de verwantschap van taxa kunnen worden afgeleid; systematiek vormt daarmee de basis voor biodiversiteitsonderzoek. Dit onderzoek is strategisch met het oog op de voortschrijdende vernietiging van habitats en de achteruitgang in biodiversiteit in vele delen van de wereld. Oecologisch en evolutiebiologisch onderzoek staan of vallen met een systematische onderbouwing. Tezamen met de Oecologie levert de Systematiek het instrumentarium voor effectief Natuurbeheer (voor een illustratie en toelichting verwijzen we naar het recente 'Biodiversiteits'-nummer van Natuur en Techniek, maart 2002). Nederland heeft de 'Convention on Biological Diversity' (CBD, Rio de Janeiro Earth Summit, 1992) geratificeerd en zich verplicht haar onderzoekscapaciteit op het gebied van biodiversiteit te vergroten. De inspanningen en ontwikkelingen in de Systematiek zijn daarbij een graadmeter voor de inzet van de Nederlandse wetenschap.

### *Maatschappelijke belangstelling*

Er is grote maatschappelijke belangstelling en waardering voor gebieden en habitats met hoge biodiversiteit vanuit esthetische, economische en recreatieve motieven, waarbij de evaluatie van gegevens wordt aangestuurd door systematici en hun producten zoals soortsbeschrijvingen, handboeken en determinatiegidsen. Ontdekking van nieuwe taxa wordt in toenemende mate gestuurd en gestimuleerd door het besef dat veel natuurlijke producten met een potentieel nut (commercieel, medisch) nog onontdekt zijn. Systematici leveren expertise aan bedrijven en instellingen en geven richting aan hun exploratie-inspanningen. Traditioneel toont de Systematiek sterke verbondenheid met particuliere en maatschappelijke organisaties, georganiseerde en individuele vrijetijdsonderzoekers, de veldbiologie en de lokale natuurbescherming. De interactie is wederzijds. De Systematiek voorziet in een wetenschappelijk kader en de organisaties leveren additionele onderzoekscapaciteit.

### *Systematiek en collecties*

Systematisch onderzoek wordt uitgevoerd vanuit instellingen met collecties van geconserveerde of anderszins permanent bewaarde exemplaren. Deze maken het mogelijk om de noodzakelijke vergelijkingen tussen de te onderzoeken objecten uit te voeren. De collecties vormen het archief van het systematisch onderzoek waarop steeds kan worden teruggegrepen. De Systematiek is een documentatie-intensieve discipline die sterk afhankelijk is van boeken, tijdschriften en andere informatiedragers. De collecties zijn dus omringd door een gespecialiseerde bibliotheek met actuele en historische documenten.

### *Zoölogische Systematiek*

De Zoölogische Systematiek is het onderdeel van de Systematiek dat zich richt op Metazoa (dieren), een van de vijf rijken van het leven. Zoölogisch-systematisch onderzoek vindt plaats in instellingen met zoölogische collecties en in universitaire afdelingen met formele binding aan dergelijke collecties. Nederland kent twee grote en een kleinere instelling met wetenschappelijke zoölogische collecties, te weten het Nationaal Natuurhistorisch Museum te

Leiden (Naturalis), het Zoölogisch Museum van de Universiteit van Amsterdam (ZMA), en de afdelingen Entomologie en Nematodologie van de Universiteit Wageningen (WUR). Tezamen beheren deze instellingen een onderzoeksinstrumentarium van ca. 25 miljoen geregistreerde zoölogische voorwerpen.

### *Huidige onderzoekssituatie*

In Naturalis wordt onderzoek uitgevoerd door wetenschappelijk geschoolde conservatoren in samenhang met hun taak als collectiebeheerder. Het aantal conservatoren aan de afdelingen 'Vertebraten', 'Invertebraten' en 'Entomologie' is 15.2 met een totale onderzoekscapaciteit van 4.6 fte. De formatie staat onder druk. Het jaar 2004 kende een teruggang van een conservator in de Paleontologie en **xxx** ondersteunende formatie. Een reorganisatie (lees: bezuiniging) en verdere teruggang van de algehele formatie 'Collectie en Onderzoek' staat op stapel, met een aangekondigde reductie van 3 fte conservatoren en 3-4 fte ondersteunende taken. Naturalis heeft formele binding met de Universiteit Leiden middels een leerstoel in deeltijd voor onderwijs in de Diersystematiek. Samen met het Nationaal Herbarium Nederland (NHN) onderhouden deze instellingen een laboratorium voor moleculaire systematiek.

De Universiteit van Amsterdam (UvA) heeft het Systematisch onderzoek ondergebracht in twee instellingen, te weten het ZMA enerzijds en anderzijds de leerstoelen Systematische en Geografische Dierkunde en Evolutiebiologie binnen het Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica (IBED), tezamen ressorterend onder de Faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica (FWNI). In de praktijk zijn beide onderdelen verweven middels personele dubbelaanstellingen. De onderzoekscapaciteit van het ZMA s.l. bedraagt 6.0 fte (excl. 1.0 fte 'soft money') maar managementtaken en collectiebeheer zijn hierbij inbegrepen. Daarnaast heeft het IBED 2.0 fte hoogleraarsposities en 2.0 fte UD posities, die in wisselende mate met het ZMA samenwerken. Moleculaire technieken en SEM zijn beschikbaar in gezamenlijke onderzoeksfaciliteiten. De Faculteit Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica van de UvA is voornemens het beheer van de zoölogische collecties binnen vier jaar aan Naturalis over te dragen en de onderzoekscapaciteit verder terug te brengen. Dit voornemen is in 2002 in een Intentieverklaring van beide instellingen vastgelegd. Ook is door een werkgroep van conservatoren van Naturalis en ZMA

gerapporteerd ('Werkgroep Collectie Integratie", 11 april 2003) over de eisen voor een verantwoorde overdracht van het beheer van de UvA naar Naturalis.

De Universiteit Wageningen heeft nog niet vastgelegd dat zij het beheer van haar collecties aan Naturalis zal overdragen, maar het ligt in de rede dat dit eveneens op termijn zal plaatsvinden. **De onderzoekscapaciteit bedraagt xxx**

*Achteruitgang van de onderzoekscapaciteit in de Zoologische Systematiek in Nederland*

Ondanks het evidente belang van de Systematiek voor de maatschappij in het algemeen en de biologische wetenschappen in het bijzonder is deze tak van bedrijf over de gehele linie sterk gekrompen en plaatselijk verloren gegaan. Een overzicht is te vinden in het rapport 'Systematiek: Biodiversiteit en Evolutie' (Nationaal Plan voor Systematische Biologie, BION, 1993). De reeds tien jaar geleden gesignaleerde 'vergrijzing' heeft zich onverminderd doorgezet en de aanwas van een nieuwe generatie zoölogische systematici is vrijwel tot stilstand gekomen. Een recente evaluatie van het (Zoölogisch) Systematisch onderzoek van Nederlands instellingen door een buitenlandse 'Peer Review' commissie spreekt naast een bevestiging van nog altijd aanwezige onderzoekskwaliteit haar zorg uit voor de toekomst van het Nederlandse biodiversiteitsonderzoek in de huidige versnipperde en ondergefinancierde situatie.

Vergelijkbare ontwikkelingen spelen zich af in het buitenland, in met name de westerse wereld (zie bijv. (1) Page, L. et al., (editors) (2004) Workshop to produce a decadal vision for taxonomy and natural history collections. U.S. National Science Foundation, Biodiversity Surveys and Inventories Program Washington D. C., USA. en (2) Select Committee (2002) What on earth ? The threat to the science underpinning conservation. The United Kingdom Parliament, Select Committee on Science and Technology Third Report) en er wordt wel gesproken van een 'bioinformatics crisis'. Dit is gebaseerd op de constatering dat slechts ca. 10 % van de soorten die vermoed worden te leven op aarde zijn beschreven sinds Linneaus is begonnen met zijn catalogus van het leven. Ook is geconstateerd dat de veelheid van regels die de beschrijving van soorten - veelal terecht - bemoeilijken een onevenredig groot deel van de aandacht van de kleine groep systematici heeft opgeëist. In het licht van deze feiten moet de vraag worden gesteld: kunnen wij / moeten wij het voornemen volhouden

om alle levende organismen op aarde te beschrijven ? Zonder technische innovaties en grotere efficiëntie (én inspanning) lijkt zo'n voornemen onhaalbaar. Er zijn twee zeer belangrijke technische innovaties, die toch een grote belofte inhouden om de biodiversiteit op aarde beter en meer toepassingsgericht te kunnen ontsluiten: informatie-technologie en DNA-technologie (zie onder). Dit zal ons echter niet helpen indien de negatieve ontwikkelingen t.a.v. de aanwas van nieuwe systematici door zullen gaan. Systematici zijn onmisbare partners voor de kwaliteitscontrole (identificatie, verwantschap, classificatie) in de op handen zijnde taxonomische revolutie.

### *Positieve ontwikkelingen*

Injecties in het Biodiversiteitsonderzoek - Nederland heeft zich aan haar als ratificeerster van de CBD opgelegde verplichting om meer Biodiversiteitsonderzoek te financieren niet onttrokken. NWO heeft drie meerjarige onderzoeksprogrammas ('Biodiversiteit van Verstoorde Ecosystemen', 'Mariene Biodiversiteit' en 'Biodiversity and Global Change') tot uitvoer gebracht, zij participeert in het EUROCORES biodiversiteit programma en initieerde het NWO-'Groot' project 'Building the databases of life'. Ook de oprichting van ETI en NL-BIF helpen om biodiversiteitsinformatie vanuit de Systematiek maatschappelijk te mobiliseren. Subsidies uit het vijfde en zesde EU Kader programma kwamen ten goede aan diverse projecten, inclusief 'Fauna Europaea', 'ENBI', een 'Netwerk-of-excellence' op het gebied van de Mariene Biodiversiteit (MARBEF) en het SYNTHESYS programma. De Zoölogische Systematiek heeft van deze injecties geprofiteerd. Echter, de 'matching' die de instellingen soms dienen te geven vormt een belasting die slechts door herschikking van taken kan worden ondervangen. Enkele jonge onderzoekers zijn middels promotie- en postdoc-onderzoek opgeleid tot diersystematicus maar de kans op het verwerven van een 'positie voor onbepaalde tijd' zijn niet groot waarmee verdere expertiseontwikkeling in gevaar komt.

Samenwerking en coördinatie - De achteruitgang van de Zoölogische Systematiek heeft een niveau bereikt waarop het niet langer mogelijk is op instellingsniveau onderzoek van internationale kwaliteit en capaciteit in stand te houden, laat staan een substantiele bijdrage aan de taxonomische revolutie en de biodiversiteitscrisis te leveren. De trieste balans is dat de

werktijd van de resterende medewerkers zodanig gevuld is met managementactiviteiten dat onderzoek noodgedwongen wordt verwaarloosd. Deze realiteit heeft geleid tot wederzijdse initiatieven tot samenwerking, die - indien beloofd - kunnen leiden tot een rationele investering in een Zoölogisch-Systematische capaciteit die is afgestemd op de reële maatschappelijke en wetenschappelijke vraag. Naturalis en de UvA zijn voornemens het beheer van de zoölogische collecties te delen en de onderzoeksinspanningen verregaand op elkaar af te stemmen. Bij beide instellingen leeft de nadrukkelijke wens tot samenwerking, op wetenschappelijk gebied leidend tot een Centrum voor (Zoölogische) Biodiversiteit. Een belemmerende factor is onduidelijkheid over de positie van het Ministerie van OCW en het integratieproces verloopt trager dan de partners wensen.

In Europees verband treden de Nederlandse instellingen op het gebied van de Systematiek (naast Naturalis en het ZMA ook het Nationaal Herbarium Nederland en het Centraal Bureau voor Schimmelcultures, CBS) reeds op als een consortium. Samenwerking, onderlinge afstemming en coördinatie van onderzoek op het gebied van de Systematiek is ook de doelstelling van het Europese 'netwerk-of-excellence EDIT' (in oprichting), waarin het Nederlandse consortium participeert, zij aan zij met andere grote collectiebeherende instellingen.

### *Conclusie*

Biologische Systematiek is een discipline van groot wetenschappelijk en maatschappelijk belang. De geleidelijke achteruitgang in onderzoekscapaciteit van de Zoölogische Systematiek heeft nu het niveau bereikt waarop herijking van doelen en middelen dringend noodzakelijk is. Nieuwe initiatieven: moleculair (ancient DNA en DNA-barcoding), informatie-technologie (taxonomy as a web-based science) zijn noodzakelijk. Er zijn aanzetten tot samenwerking van instellingen in zowel nationaal als Europees verband. De realisering van verdere samenwerking en integratie moet worden ingebed in een toekomstvisie waarin zowel onderzoeksambities als financiële en organisatorische randvoorwaarden worden geschetst.

## **Lange termijn visie op de toekomst van het Zoologisch Systematisch onderzoek**

### *Ontwikkeling van Taxonomy as a Web-based science*

Systematiek is een informatierijke wetenschap. In de visie van de samenwerkende instellingen is de belangrijkste taak van een 21-eeuwse Systematiek het on-line brengen van de aanwezige informatie en project-gestuurd verworven nieuwe informatie. De Nederlandse Systematiek participeert daarmee in de accumulatie en uitwisseling van biodiversiteitsdatabases van de wereld (inclusief hoge-resolutie afbeeldingen van type- en andere exemplaren) om zo te geraken tot een 'Morphospecies-Bank' (naar analogie van 'GenBank'). Er zijn aanzetten voor zulke on-line databanken: 'GBIF', 'Species2000', 'OBIS', 'Fauna Europaea', 'All Species', en 'World Biodiversity Database' behoren tot de grotere initiatieven, maar er zijn vele kleinere databases reeds beschikbaar. De situatie is chaotisch en stroomlijning is dringend gewenst. Ideaal zou zijn als er één (peer-reviewed) portal zou kunnen worden gerealiseerd waardoorheen alle taxonomische informatie over welk organisme dan ook zou kunnen worden bereikt. De portal zou ook kunnen dienen als een administratief centrum voor de toevoeging, controle en correctie van taxon-beschrijvingen en afbeeldingen. Dit zou het huidige systeem kunnen vervangen van soortbeschrijvingen in duizenden obscure publicaties in tijdschriften die zijn gekenmerkt door geringe oplage en navenant hoge prijs. Wel zal dan moeten worden bewerkstelligd dat de criteria van publicatie door de Internationale Nomenclatuur Commissies ten gunste van on-line publicatie worden veranderd.

Een 'Web-based Taxonomy' zal meer dan voorheen toegankelijk zijn vragen vanuit de maatschappij. Data aanbod is groeiende, vooral in de 'hogere' taxonomische groepen. Goed toegankelijke hoge-kwaliteitsdatabases betreffende nomenclatuur, collectiebezit, natuurbeschermingsstatus en algemene biologie zijn nu al beschikbaar voor verschillende gebruikersgroepen, voor leken zowel als professionele biologen. Zie hiervoor bijvoorbeeld enige Amfibie websites:

nomenclature: <http://research.amnh.org/herpetology/amphibia/index.php>;

index to collections: [http://www.calacademy.org/research/herpetology/Comb\\_Coll\\_Index/](http://www.calacademy.org/research/herpetology/Comb_Coll_Index/);

conservation status: <http://www.globalamphibians.org/servlet/GAA>;

natural history information: <http://elib.cs.berkeley.edu/aw/>

general databases: <http://www.lib.duke.edu/bes/reptiles/herpresources.htm>;

Moleculaire identificatie: 'DNA-Barcoding' en 'Ancient-DNA' en de Moleculaire Genetica zullen een revolutie in de Systematiek veroorzaken, vooral nu methoden beschikbaar komen om accuraat en met hoge snelheid DNA-gecodeerde informatie te verkrijgen. Reeds nu wordt er gewerkt aan een blauwdruk voor moleculaire identificatie en classificatie, waarbij naast geschiktheid van moleculaire markers ook aspecten als conserveringstoestand, ouderdom van het materiaal en verantwoord 'opofferen' van waardevol weefsel aandacht krijgen. Een project om DNA van alle aanwezige typen en andere belangrijke exemplaren in de Nederlandse collecties te extraheren en de moleculaire identiteit daarvan te publiceren zou spoedig binnen de mogelijkheden van de Nederlandse Systematiek kunnen liggen. De daarbij behorende morfologische karakterisering zal slechts kunnen gebeuren indien conservatoren met specialistische kennis het project sturen en superviseren.

Fylogenie reconstructie - een allesomvattende activiteit in de Systematiek - ontwikkelt zich eveneens sterk in moleculaire richting en de relaties van veel hogere taxa zijn nu (mede) gebaseerd op DNA sequentie analyse. In de toekomst zal deze ontwikkeling sterk worden bevorderd omdat: (1) DNA markers veelal neutraal zijn en het aantal kenmerken groot is, waardoor analyses een grotere overtuigingskracht hebben dan de op morfologie gebaseerde reconstructies, (2) de ontwikkeling van de nieuwste analytische methoden zoals 'Bayesian methods of inference' zijn gebaseerd op modellen van moleculaire evolutie (data modellering heeft in verwante onderzoeksvelden als populatiegenetica reeds een radicale omwenteling teweeg gebracht). Deze opwindende ontwikkelingen in de fylogenie reconstructie moeten samengaan met moderne informatie technologie en betrouwbare identificatie om te resulteren in de totstandkoming van het ultieme doel: een gebruikersvriendelijke, inzoombare, informatierijke 'Tree-of-Life'.

Collecties zoals beheerd in Naturalis, ZMA en de zusterinstellingen zijn bij uitstek geschikt als basis voor de bovengeschetste onderzoeksactiviteiten. Gezamenlijk omvatten zij een representatieve doorsnee van de 'Tree-of-Life'. De instellingen beheren voucher materiaal waarop soorten en hogere taxa zijn gegrondvest, inclusief informatie over herkomst en oecologische gegevens. Zij vormen ook een historische database, waaruit objectief kan worden vastgesteld welke biodiversiteitselementen in vroeger tijden aanwezig waren (en

mogelijk nu ontbreken). Bundeling van collectieinformatie van instellingen in de gehele wereld via het linken van databases zal het onderzoek van de huidige biodiversiteitscrisis objectiveren en beheer van de natuur rationaliseren.

## **De naaste toekomst van de Nederlandse Zoölogische Systematiek**

Veel van de gevraagde activiteiten om aan de boven geschetste ontwikkelingen bij te dragen kunnen alleen efficiënt worden gedaan in gezamenlijkheid. De ontwikkelingen in Europa en de wereld kunnen ook sterker worden beïnvloed vanuit een gebundelde Nederlandse inspanning, waardoor kritische massa en impact vergelijkbaar zullen zijn met die van de grote zusterinstituten in de wereld.

### *Randvoorwaarden*

Een toekomstplan voor de bundeling van het onderzoekspotentieel van de Nederlandse Zoölogische Systematiek dient te worden gevestigd op

- formele overeenkomst van de samenwerkende instellingen
- bestaande sterktepunten in expertise en collectieprofielen
- ambities voor wat betreft competentie en internationale competitie
- opleidingseisen t.b.v. jonge systematici op basis van state-of-the-art methodieken
- een samenhangend meerjaren onderzoeksplan
- meerjarige stabiele financiering vanuit de eerste geldstroom in ruil voor strak geformuleerde eindtermen

### *Samenwerkende instellingen*

In eerste instantie Naturalis en UvA. Op korte termijn moet contact worden gezocht met WUR. Op de langere termijn zal ook moeten worden gebundeld met NHN en CBS.

### *Nationale ambities*

De ambities van de samenwerkende instellingen zijn onverkort het uitgroeien naar een nationale faciliteit voor biodiversiteitskennis, cq. een Centrum voor (Zoölogische) Biodiversiteit, waar de Nederlandse samenleving haar vragen en problemen op het gebied van biodiversiteit kan deponeren.

De samenwerkende instellingen zullen in staat moeten worden gesteld de nieuwe uitdagingen van het vakgebied aan te pakken.

De uitvoering van de Systematiek op basis van de moleculaire genetica voltrekt zich in hoog tempo. Het ontwikkelen van moleculaire markers voor verschillende diergroepen en taxon-niveaus is sterk in opkomst en vereist een vergroting van de laboratorium capaciteit inclusief high throughput sequencing. Biogeografisch onderzoek verkrijgt een nieuwe impuls nu meer fylogenieën op alle taxonomische niveaus beschikbaar komen. De begeleidende analyse methoden zoals algoritmen en statistische bewerkingen verkeren in een status van flux. Ook op het biodiversiteitsfront zullen moleculaire markers een belangrijke rol gaan spelen, zoals 'DNA-barcoding' voor moeilijk te identificeren taxa. De verwerking van deze data en andere informatiedragers zoals foto's en scans van morfologische details in databases vereist aanpassing van bestaande technologie en vergroting van de reken- en opslagcapaciteit. Klassieke taken zoals de exploratie, beschrijving en classificatie van taxa zullen worden gekenmerkt door sterke nationale en internationale afstemming, en een informatie-technologisch en DNA-technologisch gestuurde aanpak. Dit alles zal niet zonder verdergaande investeringen kunnen plaatsvinden.

#### *Sterktepunten in expertise*

Systematische expertise van de vooralsnog twee instellingen is vrijwel complementair zoals blijkt uit onderstaand staatje.

Sterk diergroep-gebonden expertise zal vooral bij een toekomstig Naturalis-ZMA met landelijke verantwoordelijkheid voor de collecties te vinden zijn, terwijl de meer theoretische aspecten en diergroep-overstijgende problemen het best bij de universiteiten thuis zijn. Ook lijken de meer academische onderzoeksaspecten het best bij de universiteiten te passen, terwijl de meer toegepaste gebieds- of diergroepaspecten in het Naturalis-ZMA-onderzoek het meest zullen voorkomen. De instellingen zullen elkaars expertise delen in gezamenlijke projecten.

Scientist	Aff.	fte	Expert Knowledge	Geographic Area	Habitat
<b>VERTEBRATES</b>					
Van Oijen, M.J.P.	NNM	1.0	Pisces	East Africa, Asia	Freshwater, Marine
Dekker, R.W.R.J.	NNM	0.9	Aves	SE Asia	Land
Arntzen, J. W.	NNM	0.9	Amphibia, Reptilia	Europe	Land, Freshwater
Smeenk, C.	NNM	1.0	Mammalia	World	Marine
Vences, M.	ZMA/IBED	1.0	Amphibia	East Africa	Land, Freshwater
Zuiderwijk, A.C.M.	ZMA/IBED	0.2	Amphibia, Reptilia	Netherlands	Land, Freshwater
<b>INVERTEBRATES</b>					
Hoeksema, B.W.	NNM	1.0	Stony Corals	SE Asia	Marine
Van Ofwegen, L.P.	NNM	0.9	Soft Corals	SE Asia	Marine
Fransen, C.H.J.M.	NNM	1.0	Crustacea	SE Asia	Marine
De Voogd, N.J.	NNM	0.9	Porifera	SE Asia	Marine
Gittenberger, E.	NNM	0.7	Mollusca	Europe	Land
De Winter, A.J.	NNM	1.0	Mollusca	W Africa	Land
Van Soest, R.	ZMA/IBED	1.0	Porifera	World	Marine, Freshwater
Sluys, R.	ZMA/IBED	0.5	Platyhelminthes	World	All
Pierrot, A.	ZMA/IBED	0.5	Chaetognatha	World	Marine
Ten Hove, H.	ZMA/IBED	p.m.	Serpulidae	World	Marine
Vonk, R.	ZMA/IBED	1.0	groundwater crust	World	Freshwater
<b>ENTOMOLOGY</b>					
Van Tol, J.	NNM	1.0	Odonata	SE Asia, World	Land
Van Achterberg, C.	NNM	1.0	Hymenoptera	World	Land
De Jong, R.	NNM	1.0	Lepidoptera	SE Asia, World	Land
Van Nieukerken, E.J.	NNM	1.0	Lepidoptera	World	Land
Ulenberg, S.	ZMA/IBED	1.0	Lepidoptera	Europe, World	Land
De Jong, H.	ZMA/IBED	1.0	Diptera	Europe, World	Land
?? Kleukers, R.M.J.C.	NNM	0.9	?? Krikken, J.	NNM	1.0

### *Collectieprofielen*

De gezamenlijke collecties van de drie instellingen kennen een aantal sterktepunten, waarvan sommige uniek zijn in de wereld dan wel een unieke regionale focus hebben. Kiezen voor onderzoek aan deze objecten en het entameren van projecten geïnspireerd op deze collecties is objectief, voorkomt internationale overlap en maakt het verwerven van internationale onderzoekssubsidies meer succesvol. Een incomplete opsomming van zulke collecties, zie Tabel //xx//: (moet nog worden gedaan)

*Internationale ambities*

De Nederlandse Systematiek maakt zich sterk voor een Europese virtuele instelling voor Systematiek. Het heeft daarbij noodgedwongen (zie boven) een bescheiden positie in de subtop moeten kiezen achter grote instellingen als het Muséum National d'Histoire Naturelle (NHN, Parijs), Zoologisches Museum 'Alexander von Humboldt' Berlin (ZMB, Berlijn) en het Natural History Museum (NHM, Londen). Niettemin is de individuele Nederlandse inbreng in deze beoogde instelling van hoge kwaliteit (o.a. door het nemen van de verantwoordelijkheid voor enkele workpackages, en de organisatie van een workshop over het strategische DNA Barcoding) en een waarborg dat deelname ook in de toekomst verzekerd is. In de wereld wordt materieel en personeel bijgedragen aan belangrijke internationale instellingen als GBIF en OBIS.

Additionele onderzoekssteun is meer en meer in Europa en in de wereld te vinden. Het zevende kaderprogramma zal goede kansen op extra financiering gaan bieden. Succes hangt o.a. af van samenwerking met zusterinstellingen in andere EU landen. Het is geboden middels een 'soft money' component in de financiering van het totale onderzoeksplaatje een stimulans in te bouwen om vooral in te schrijven op internationale programmas en deelnemer te zijn van internationale consortia.

Het SYNTHESYS programma is nu uitgebreid met deelname van door de National Science Foundation gefinancierde Amerikaanse onderzoekers. Hier liggen vele mogelijkheden voor het aangaan van samenwerkingsverbanden buiten de Europese grenzen, zoals in het ATOL programma.

*Opleidingseisen voor toekomstige systematici*

Onderzoek van jonge onderzoekers (aio's en andere PhD studenten) heeft ook sterk het karakter van training en kennisoverdracht. Niet elk onderzoeksproject zal per-se gebruik moeten maken van state-of-the-art methodieken, maar jonge onderzoekers zullen daarin wel moeten worden bekwaamd om hun kansen op een vaste plek in Europa of daarbuiten te verzekeren. De universiteiten van Amsterdam, Wageningen en Leiden bieden cursussen aan op het vakgebied van de Systematiek, in de bachelor fase en in de master's fase. Deze

universiteiten en Naturalis zijn deelnemers aan de onderzoeksschool Biodiversiteit, waarin cursussen voor PhD studenten worden aangeboden. De kwaliteit en de samenhang van het pakket moet worden gescreend op haar geschiktheid om de geschetste toekomst van de Systematiek mogelijk te maken. Het lijkt geboden om meer gerichte aandacht voor 'Taxonomy als Web-based science' en aan 'Biodiversity informatics' te vragen. Het op te richten Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit zal in samenwerking met de Universiteiten van Amsterdam en Leiden een gericht opleidingspakket programmeren.

### *Meerjaren onderzoeksplan*

De oprichting van een Centrum voor (Zoölogische) Biodiversiteit maakt het mogelijk om de onderzoeksinspanningen op het gebied van de Zoologische Systematiek van UvA en Naturalis te coördineren tot een samenhangend en op de toekomst gericht programma. Parallel aan de voorstellen van de Onderzoeksschool Biodiversiteit voor onderzoek in de komende 5 jaar wordt hier voorgesteld om het onderzoek te centreren op twee fundamentele vragen:

**1. Hoe kan de huidige biodiversiteit het best worden gecategoriseerd zodat het een operationeel instrument wordt voor wetenschap én maatschappij?**

**2. Hoe komt biodiversiteit tot stand in termen van tijd en ruimte ?**

Beide onderzoeksvragen zijn gerelateerd en vormen onmisbare kennis om biodiversiteitsmanagement en natuur- en milieubeleid uit te voeren.

Naar de aard van het benodigde onderzoeksmateriaal en instrumentarium ligt de eerste vraag vooral op het terrein van de collectieinstellingen (Naturalis - ZMA), terwijl de tweede vraag zich bij uitstek leent voor een academische benadering vanuit de universiteitsafdelingen van UvA (IBED) en UL (in het bijzonder IBL) en WUR. De tweede vraag overlapt het terrein van de paleontologie, en een meerwaarde van de voorziene samenbundeling van Naturalis met het universitaire onderzoek zou kunnen worden verkregen door een vergrote afstemming met de paleontologie.

Centrale themas voor de eerste onderzoeksvraag zijn:

I - Alpha- en beta-taxonomie van geselecteerde diergroepen (selectie op grond van eigen sterktes en internationale samenwerking). Producten zullen zijn nieuwe taxonbeschrijvingen, monografiën, voorstellen voor gewijzigde classificaties. De aanpak van het ontdekken en beschrijven van nieuwe soorten zal zich sterk technologisch moeten vernieuwen om ook maar enigszins een representatieve indruk van de biodiversiteit op aarde te verkrijgen waarmee de biodiversiteitscrisis kan worden beheerst. Onderzoeksplanning zal moeten worden geleid door overwegingen van efficiëntie: het ambitieuze doel om tezamen met zusterinstellingen in de wereld te streven naar voldoende kennis van de biodiversiteit om rationeel beheer mogelijk te maken zal leiden tot het opgeven van pogingen om organismen die een zeer geringe verspreiding en moeilijk toegankelijke habitat (geschat op ong. 10% van de fauna) te beschrijven. Ook zal classificatie meer en meer op basis van genetische markers moeten gaan plaatsvinden, waardoor tijdrovende (en dure) revisies van grote hoeveelheden soorten minder noodzakelijk zullen zijn. Inbouw van de nieuw gevonden taxa in de 'Tree of Life' zal met moleculaire markers ook gemakkelijker en sneller kunnen worden gerealiseerd. Zodra- en waar mogelijk zullen de producten vooral on-line worden gepubliceerd.

II - 'Biodiversity assessment' inclusief onderzoek van beta-diversiteitspatronen in maatschappelijk bepaalde regio's en gebaseerd op eigen sterktes. Producten zijn regionale monografiën en analyses van de geografische schaal waarop biodiversiteit wordt beïnvloed (en die bijv. dus zullen bepalen hoe groot eventueel te beschermen gebieden en habitats zullen moeten zijn). Veel onderzoek zal plaatsvinden in nauwe samenwerking met locale/regionale wetenschappers. Consultancies voor locale bedrijven en onderzoeksinstituten zijn een spin-off.

III - 'Biodiversity informatics' in nauwe samenwerking met nationale (NL-BIF), Europese (Fauna Europaea / MARBEF / EDIT) en mondiale organisaties als GBIF-OBIS. Producten zijn gecontribueerde collectiedatabases en ontwikkelde analyse instrumenten die onderzoek van in databases opgeslagen biodiversiteitsgegevens faciliteren.

IV - 'DNA-Barcoding': beschikbaar stellen van betrouwbaar voucher materiaal voor internationale Barcoding projecten. Onder leiding van de conservatoren worden exemplaren aanwezig in de collectie of nieuw verzameld in het veld geselecteerd voor DNA-extractie en sequencing. Producten zijn on-line gepubliceerde barcodes voor organismen gebaseerd op eigen sterktes.

Centrale thema's voor de tweede onderzoeksvraag zijn:

I - Hoe zijn verspreidingen van populaties en soorten ontstaan (fylogeografisch onderzoek) ? Onderzoek aan taxa zal worden gebaseerd op eigen sterktes, of naar aanleiding van maatschappelijke of internationale vraag. De Systematiek raakt hier aan het vakgebied Evolutiebiologie, waarin vanuit procesgericht onderzoek vergelijkbare vragen worden gesteld (omdat er in elk soortvormingsproces ook onvermijdelijk geografische aspecten aan de orde zijn). Betere fylogenetische onderbouwing met moleculaire fylogeniën heeft al bewezen tot een sterk verbeterd inzicht te leiden in het proces van populatie differentiatie. Producten van dit onderzoek zijn reconstructies betreffende de historische ontwikkelingen van de biodiversiteit van de geselecteerde habitats en regio's.

II - Hoe zijn verspreidingspatronen van hogere taxa ontstaan (historisch biogeografisch onderzoek) ? Onderzoek aan taxa waarvoor eigen expertise aanwezig is, met vooral inzet van moleculair-fylogenetische gegevens. Dit is bij uitstek een academisch onderzoek, dat bijdraagt aan het vergroten van het inzicht in de ontwikkeling van de biota van de aarde en ook bijdraagt aan het heersende wereldbeeld. Meer dan voorheen zal moeten worden gezocht naar calibratie van de gereconstrueerde gebeurtenissen (bijvoorbeeld betrouwbare datering met fossielen in samenwerking met paleontologen) omdat zij in een verder verleden en dus minder gedocumenteerd hebben plaatsgevonden.

III - Hoe zijn macro-evolutionaire veranderingen ontstaan waardoor diergroepen nieuwe concurrentiemogelijkheden hebben ontwikkeld (fylogenomisch onderzoek). Hier raakt de Systematiek aan diverse andere biologische disciplines die zich vragen stellen over de

evolutie van complexe kenmerken, die verschillende 'oplossingen' voor de aanpassing aan milieuveranderingen in zich dragen. Een sterke benadering hiervoor is de 'comparative method'. Dit vereist beschikbaarheid van twee onafhankelijke data sets. De eerste set, bij voorkeur op basis van evolutionair neutrale kenmerken wordt gebruikt voor het construeren van een fylogenetische hypothese, waartegen de andere gegevens kunnen worden afgezet. De studie van adaptatie leidt tot inzicht over hoe en waarom bepaalde kenmerken zijn ontwikkeld als gevolg van natuurlijke en seksuele selectie, hetgeen op zich weer kan leiden tot verbeterde fylogeniën. Multipole onafhankelijke fylogeniën zijn momenteel steeds meer beschikbaar en deze kunnen worden gebruikt om kenmerkanalyse meer objectief uit te voeren. Dit zal op haar beurt leiden tot een groter inzicht in patronen

IV - Deelname aan het internationale fylogenetische ATOL = 'Assembling the Tree of Life' programma. Hoe is de 'Tree-of-Life' gevormd ? Een leidend thema zal zijn de reciproke vergelijking van fylogeniën van taxa gebaseerd op morfologische kenmerkcomplexen (e.g. Bauplan, ontogenie) en die op moleculaire kenmerkcomplexen (e.g. hox genes). Dit thema is tegelijk een onderzoeksproject en een deel van het uiteindelijke doel van vrijwel al het academisch biologisch onderzoek: ontrafelen van de evolutionaire geschiedenis van het leven op aarde. De Systematiek draagt bij vanuit specifieke Bauplan kennis en betrouwbare identificatie expertise. Producten zijn publicaties in high profile tijdschriften en bijdragen aan on-line hoofdstukken ('branches') van de Tree of Life.

### *Financiering*

De nationale onderzoeksfinanciering (N.W.O., KNAW, Universiteiten) vindt indirect plaats via de hoofd-directie Wetenschappen van het Ministerie van OCW. De hoofd-directie Cultuur van OCW heeft tot nu toe het onderzoek van Naturalis voor haar rekening genomen, maar financiering via het cultuurdomein staat onder druk. Hier wordt voorgesteld om de hoofd-directie Wetenschappen, bijv. via N.W.O., te belasten met het fourneren van een voorlopige basisfinanciering van het onderzoek van een Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit (bestaande uit de onderzoeksgroepen van Naturalis en het Zoölogisch Museum van de Universiteit van Amsterdam), waarvoor de exploitatiekredieten van het onderzoek, die tot nu

toe separaat vanuit het cultuurdomein en de Universiteit van Amsterdam worden verstrekt zouden kunnen worden ingezet. Uitbreiding van de capaciteit lijkt onvermijdelijk, maar zou afhankelijk kunnen worden gemaakt van een meting van kwaliteit en kwantiteit van het huidige Nederlandse Zoölogisch Biodiversiteitsonderzoek tegenover inspanningen elders in Europa en in de wereld. Een eerste aanzet van zo'n meting kan worden gevonden in het eerder genoemde Peer Review rapport over de Onderzoeksschool Biodiversiteit.

Naast een eventuele uitbreiding van wetenschappelijke formatie, is een grotere technische ondersteuning, zoals laboratorium personeel, database typisten, en informaticaspecialisten, noodzakelijk. De aanvullende onderzoeksinspanningen van de Universiteiten (UvA-IBED, UL-IBL, WUR) op het gebied van Systematiek kunnen voor de komende tijd worden vastgelegd op een minimum, in nader overleg vast te stellen.

Ook zullen materiële investeringen noodzakelijk zijn om de ambities te realiseren. Gezien de huidige situatie in de instellingen zullen tenminste capaciteitsvergrotingen noodzakelijk zijn voor 'high throughput DNA sequencing' faciliteiten (al dan niet in samenwerking met het bedrijfsleven), modernisering van Scanning Electronenmicroscopie (bijv. uitbreiding met een 'Environmental SEM') en 'Automontage', servercapaciteit, computer soft- en hardware, en high quality computer scanners.

Precieze detailvorm van de financiering is niet aan de opstellers van dit document, maar een suggestie zou kunnen zijn om een basisfinanciering vanuit de eerste geldstroom te geven voor een periode van 5 jaar, met een beoogde 'inverdien'-inspanning van 30%, te verkrijgen uit tweede en derde geldstroom. Wel moet worden gewaarschuwd voor al te hoge verwachtingen t.a.v. de inkomsten van een Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit. Producten van het Centrum zijn gericht op biodiversiteitsonderzoek, waarvan de ervaring leert dat deze nauwelijks commerciële prijzen opbrengen.

Na 5 jaar zal de dan ontstane financiële situatie opnieuw worden bezien in het licht van de - nagestreefde - situatie van fysieke samenvoeging van de grote zoölogische collecties.

#### *Organisatie-structuur van het Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit*

De structuur van het op te richten Centrum zal afhangen van de mate van collectie integratie die in de beoogde vijfjarige aanloop periode zal worden bereikt. In de huidige bi-locatie

situatie is toch reeds bundeling van onderzoek mogelijk door organisatie van lopend en nieuw onderzoek in gezamenlijk geformuleerde en gesuperviseerde onderzoeksprojecten gefinancierd vanuit de hoofd-directie Wetenschappen. Een informele aanzet tot reorganisatie van het lopend onderzoek is reeds in 2004 gegeven door de samenvoeging van Naturalis- en ZMA projecten in regionaal- en diergroepgeorganiseerde programmas (e.g. de Nederlandse Fauna, Zuidoost-Aziatische mariene en land-en zoetwater Fauna) waarvoor programmaleiders zijn genomineerd. Lopend onderzoek wordt gezamenlijk georganiseerd en besproken in regelmatige bijeenkomsten van de onderzoekers.

Deze informele samenwerking zal kunnen worden geformaliseerd indien de bundeling van de geldstromen (bijvoorbeeld als boven geschetst) is gerealiseerd. Pas dan zal ook een organisatievorm kunnen worden ingesteld, waarbij deelverantwoordelijkheden worden overgedragen vanuit de beide instellingen naar een nieuw management van het Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit. Deze stappen zijn ook noodzakelijk om de internationale ambities en het deelnemen aan Europese en andere programmas te kunnen realiseren.

Fysieke collectie integratie wordt nagestreefd vanwege efficiëntie van beheer en synergie op de werkvloer, en de voordelen van fysieke nabijheid van samenwerkende onderzoekers en onderzoeksobjecten. De realisering zal traag en weerbarstig blijken vanwege de afhankelijkheid van kostbare nieuwbouw en de voortgang ervan. Voorgesteld wordt om niet te wachten met de oprichting van het Centrum en het formeel organiseren van het management. De gedachte gaat uit naar een 'hoofd' (incl.enige secretariële ondersteuning) die door de instellingen gemachtigd is onderzoeksgroepen aan te sturen en financiën voor het onderzoek te verstrekken, waarboven een 'bestuur' is geplaatst bestaande uit de directeuren van de instellingen.

Taken van zo'n Centrum voor Zoölogische Biodiversiteit zouden kunnen zijn:

- (1) In kaart brengen van uitdagingen en noodzakelijke onderzoeksstrategieën om de zoölogische taxonomie om te bouwen tot een 'web-based science' en het ontwikkelen van onderzoeksinstrumenten om de biodiversiteitscrises te helpen beheersen.
- (2) Bundelen en organiseren van Nederlandse zoölogisch-systematische onderzoeksprojecten en -programma's gefinancierd vanuit de eerste geldstroom

- (3) Coördinatie van onderzoeksinspanningen op het gebied van de Zoölogische Systematiek van Nederlandse instellingen, m.n. geaffiliëerde universiteiten
  - (4) Opstellen van een modern onderwijspakket voor de training van een nieuwe generatie zoölogische systematici in samenwerking met de Universiteiten van Amsterdam en Leiden
  - (5) Coördinatie van materiële investeringen in nieuwe instrumenten en technieken
  - (6) Exploiteren van verworven onderzoeksinstrumentarium
  - (7) Verwerven van internationale onderzoeksfinanciering en deelname (i.c. leiding geven) aan internationale (deel-)netwerken op het gebied van zoölogische biodiversiteit.
  - (8) Coördineren en verzorgen van cursussen en andere opleidings-activiteiten op het gebied van de zoölogische biodiversiteit
  - (9) Bevorderen en begeleiden van de collectie-integratie uiteindelijk resulterend in een grote zoölogische collectie
  - (10) Activiteiten ontwikkelen om overheidsinstellingen op het gebied van natuur-en milieu gevraagd en ongevraagd van advies te dienen, actief en passief contact onderhouden met de amateurverenigingen, amateuronderzoekers, en andere maatschappelijke organisaties, en zich te profileren als een (internationaal) informatiecentrum op het gebied van de zoölogische biodiversiteit
-