





Biologie: een vitaal belang

Strategische visie op de universitaire  
biologie in Nederland

© 2001, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen  
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, via internet of op welke wijze dan ook,  
zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de rechthebbende,  
behoudens de uitzonderingen bij de wet gesteld.

*Adres:* Kloveniersburgwal 29, 1011 JV Amsterdam

*Postadres:* Postbus 19121, 1000 GC Amsterdam

*Telefoon:* 020-5510700


*Fax:* 020-6204941

*E-mail:* [knaw@bureau.knaw.nl](mailto:knaw@bureau.knaw.nl)

*WWW-adres:* <http://www.knaw.nl>

*Voor het bestellen van publicaties:* 020-5510780

ISBN 90-6984-320-X

Het papier van deze uitgave voldoet aan  iso-norm 9706 (1994) voor  
permanent houdbaar papier

# Inhoud

Samenvatting 7

1. Inleiding 11

2. Onderzoek in de biologie 13

2.1. *De uitdaging* 13

2.2. *Breedte van het biologisch onderzoek* 15

2.3. *Profilering van het universitair onderzoek in de biologie* 17

2.4. *Integratie van biologisch onderzoek* 23

2.5. *De biologie-faculteiten als kenniscentra* 24

2.6. *Verwachte ontwikkelingen in het biologisch onderzoek* 25

3. Onderwijs in de biologie 33

4. Organisatiestructuur van biologisch onderzoek en onderwijs 37

5. Aanbevelingen 39

Constateringen en Aanbevelingen Onderzoek 40

Constateringen en Aanbevelingen Onderwijs 43

Geraadpleegde literatuur 45

Bijlagen

I. Commissie Disciplineplan Biologie: terms of reference en samenstelling 49

II. Profilering/onderzoeksprogramma's per instelling 51

II-A. De nationale onderzoeksthema's en lokale onderzoeksprogramma's in verband 67

III. Overzicht van (participatie in) onderzoekscholen 69

IV-A. Leerstoelenoverzicht Biologie – per instelling 71

IV-B. Overzicht hoogleraren Biologie – alfabetisch 81

V. Lijst van afkortingen 87



# Samenvatting

Het voorliggende rapport 'Biologie: een vitaal belang' bevat een strategische visie voor de biologie in Nederland. Het rapport is tot stand gekomen op initiatief van de Biologische Raad en het Decanenoverleg Biologie, als vervolg op de rapporten van de Verkenningcommissie Biologie (1997) en de Visitatiecommissie Biologie (1999), en kan tevens worden beschouwd als een vervolg op het Disciplineplan Biologie (1986).

Sinds het eerste disciplineplan uit 1986 is er veel veranderd in zowel het biologisch onderzoek als onderwijs. Het biologisch onderzoek heeft de afgelopen vijftien jaar een onstuimige ontwikkeling doorgemaakt. De resultaten van dit onderzoek zijn zo ingrijpend, dat zij directe consequenties hebben voor ons maatschappelijk leven. Door sommigen is de zojuist begonnen eeuw dan ook al aangeduid als de 'Eeuw van de Biologie'<sup>1</sup>. Als gevolg daarvan is de belangstelling voor biologisch onderzoek sterk toegenomen, zowel binnen de academische wereld als in andere delen van de samenleving en vooral ook in de industrie. De uit het biologisch onderzoek voortkomende biotechnologische toepassingen vormen daarbij een steeds belangrijker pijler van onze westerse kenniseconomie. Dit heeft al geleid tot termen als 'Nieuwe Biologie', om het belang van de biologie voor onze economie duidelijk te maken.

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat het goed gaat met de biologie. De biologie is in alle opzichten vitaal: niet alleen omdat zij de eigenschappen van levende organismen onderzoekt, maar ook omdat zij als discipline levenskrachtig en dynamisch is. Gevoegd bij het toenemend maatschappelijk en economisch belang van de biologie, kan dan ook in alle opzichten van een 'vitaal belang' gesproken worden.

De snelle ontwikkelingen in de biologie, gekoppeld aan de toenemende belangstelling vanuit andere vakgebieden voor onderzoek aan de levende materie, heeft er toe geleid dat het biologisch onderzoek sterk interdisciplinair van karakter is geworden. Deze impulsen worden versterkt door de huidige organisatie-structuur waarbij het universitair biologisch onderzoek is ondergebracht in doorgaans faculteit en universiteit overschrijdende onderzoekscholen, waarbinnen op lokaal niveau nauw wordt samengewerkt met biologisch gerichte para-universitaire instellingen. Wil het biologisch onderzoek in Nederland zich de komende jaren op topniveau kunnen blijven ontwikkelen, dan is het van belang dat er goede landelijke afspraken gemaakt worden over een onderlinge taakverdeling. Dit rapport geeft een aanzet voor dergelijke landelijke afspraken voor een onderzoeksprofilering, zodat het zich steeds verder uitbreidende biologische onderzoeksveld op een adequate wijze in ons land bestreken kan worden. Uitgangspunt hierbij is dat elk van de zeven

<sup>1</sup> (Ex)President Clinton, 18 mei 1997:  
'...in science, if the last 50 years were the age of physics, the next 50 years will be the age of biology'

universitaire biologie-opleidingen haar onderzoek concentreert binnen een beperkt aantal thematisch ingevulde onderzoeksprogramma's, die elk inhoudelijk versterkt worden door een lokaal kader van aanpalend universitair en para-universitair onderzoek. Hierdoor wordt versnippering tegengegaan en wordt een voldoende kritische massa voor kwalitatief hoogwaardig onderzoek gegarandeerd. Door hun complementariteit vormen deze onderzoeksprogramma's gezamenlijk een landelijk kader, vormgegeven in een zevental onderzoeksthema's, met als resultaat een samenhangende visie op de biologie en de omringende multidisciplinaire vakgebieden, waarbij snel ingesprongen kan worden op de uitdagingen van het huidige natuurwetenschappelijke onderzoek.

Landelijke afspraken over onderzoeksprofilering vereisen ook een gezamenlij-

*Landelijk kader van zeven onderzoeksthema's:*

- Signaaloverdracht bij adaptatie
- Werking van het zenuwstelsel
- Regulatie van cellulaire fysiologie
- Ontwikkelingsprocessen
- Dynamiek van biodiversiteit
- Multitrofe interacties
- Ecosysteemprocessen

ke visie voor de opbouw van het onderwijs in de biologie. Immers, door de sterke verbreding van het biologisch onderzoek is het niet meer mogelijk dat elke universitaire biologie-opleiding het vakgebied in de volle breedte kan blijven doceren. Daarbij moet gerealiseerd worden dat de universitaire biologie-opleidingen niet alleen studenten opleiden voor het academisch biologisch onderzoek, maar ook voor het biologisch onderzoek aan medische faculteiten, in het bedrijfsleven en aan para-universitaire instellingen. In combinatie met de komende invoering van het bachelor/master systeem, dat een grotere mobiliteit van studenten mogelijk maakt, worden in dit rapport voorstellen gedaan voor de inhoudelijke opbouw van de verschillende fasen van de biologie-opleiding, waarbij de mogelijkheid tot het volgen van universiteit-overschrijdende cursussen centraal staat. Daarbij worden voorstellen gedaan om de master-opleidingen inhoudelijk te koppelen aan de onderzoeksprofielen van de diverse opleidingen.

Universiteiten hebben naast hun taak als opleidings- en onderzoeksinstituut ook een belangrijke functie als kenniscentrum. Door landelijke afspraken over taakverdeling dient er voor gewaakt te worden dat belangrijk geachte biologische kennis niet voor ons land verloren gaat. Voor een aantal specifieke terreinen, zoals diersystematiek (zoölogische collecties), wijsgerige biologie en didactiek van de biologie wordt aanbevolen om nationale kenniscentra op te richten. Om deze en andere landelijke afspraken te implementeren, is het van



belang dat er met name ook op lokaal niveau voldoende interactie blijft bestaan tussen de biologische leerstoel-houders, ongeacht de onderzoekscholen waarin zij participeren. Derhalve is het gewenst dat er per biologie-opleiding een organisatiestructuur functioneert die dergelijke interacties activeert.

Concluderend kan gesteld worden dat het voorliggende rapport een toekomstgerichte visie biedt hoe de biologie landelijk op een coherente wijze gestructureerd moet worden, om haar twee hoofdtaken, te weten het onderzoek en het onderwijs, zo goed mogelijk uit te kunnen voeren. Dit is de beste garantie om de biologie de sterke, voedende discipline te doen zijn die nodig is om haar steeds belangrijkere rol als katalysator van interdisciplinair onderzoek aan de levende materie te kunnen vervullen.



Biologie is de wetenschap die zich richt op onderzoek naar het ontstaan, de structuur, het functioneren en de dynamische verscheidenheid van levende organismen. De biologie vormt de basis van wat wordt aangeduid met de term levenswetenschappen en is de voedende bron voor disciplines als de medische wetenschappen, landbouwwetenschappen, voedingswetenschappen, milieuwetenschappen en biotechnologie. Vanwege de vraagstelling, de benadering en de concepten behoort de biologie tot de exacte wetenschappen. De moleculaire componenten van de levende cel gedragen zich volgens fysisch chemische wetmatigheden. Anders echter dan bij levenloze materie zijn de processen die zich afspelen in levende organismen vastgelegd in een genetisch programma, dat via mutaties en natuurlijke selectie gedurende vele miljoenen jaren van evolutie aanleiding heeft gegeven tot een overweldigende biologische diversiteit. Variatie en voortdurende verandering zijn de typische kenmerken van de levende natuur. Dit dubbele karakter van wetmatigheden binnen biologische processen geeft de biologie een geheel eigen positie binnen het gebied van de natuurwetenschappen.

De biologie bevindt zich nationaal en internationaal in een periode van ongekende bloei. De grote technologische vooruitgang van de laatste 25 jaar heeft geleid tot doorbraken op vele terreinen binnen de biologie, zowel wat betreft fundamentele concepten als wat betreft praktische toepassingen. Ook maatschappelijk gezien staat de biologie in het middelpunt van de belangstelling, mede vanwege innovaties op het terrein van milieubeheer, gezondheidszorg, voedselproductie en biotechnologie. Biologie begint ook een steeds centralere positie in te nemen in de kennis-economie van geïndustrialiseerde landen als Nederland. De recente ontwikkelingen in de biologie hebben, mede gezien hun grote implicaties voor ons dagelijks leven, geresulteerd in een toenemende belangstelling van studenten voor biologische wetenschappen. Daarnaast vindt momenteel veel onderzoek vanuit andere disciplines, zoals bijvoorbeeld de chemie en de fysica, zijn inspiratie in de nieuwe ontwikkelingen binnen de biologie. Daardoor ontwikkelt zich een nieuw soort multi-disciplinair onderzoek aan de levende materie, waarvan de biologie de voedende kern is.

De zeven universitaire biologie-opleidingen in Nederland zijn gezamenlijk de eerst verantwoordelijken voor het opleiden van biologen op academisch niveau, die breed inzetbaar zijn binnen het academische, overheids- en private onderzoek, op beleidsbepalende functies en in het onderwijs. De sterke verbreding van onze biologische kennis en de gewenste brede inzetbaarheid van biologisch opgeleide academici vereist dat er landelijke afspraken gemaakt worden om te komen tot een taakverdeling bij de opleidingsprogramma's. Hierbij moet, gebaseerd op een bachelor/master-structuur, de uitwisselbaarheid van cursussen en stages centraal staan.

De universitaire organisatiestructuur heeft de laatste jaren grote veranderingen ondergaan. Het onderbrengen van wetenschappelijk onderzoek in veelal multidisciplinaire onderzoekscholen heeft er toe geleid dat de traditionele schotten tussen de diverse vakgebieden zijn doorbroken. Als gevolg hiervan zijn er inhoudelijk zowel als organisatorisch nieuwe interdisciplinaire verbanden ontstaan en worden ook de promovendi momenteel meer thema-inhoudelijk dan strikt binnen een bepaalde discipline getraind. Deze concentratie van onderzoek sluit goed aan bij het toenemend multidisciplinaire karakter van het biologisch onderzoek. Wil de biologie echter zijn taak als voedende discipline voor de diverse takken van onderzoek blijven vervullen, waarbij met voldoende kritische massa ingesprongen kan worden op de vele nieuwe uitdagingen, dan is een heldere onderlinge afstemming van het wetenschappelijk onderzoek in de biologie een vereiste. Landelijke profilering en lokale coherentie staan hierbij centraal. Een dergelijke onderzoeksprofilering dient er voor te zorgen dat het kwalitatief hoogwaardig onderzoek in grotere, veelal interdisciplinaire eenheden wordt uitgevoerd, bij voorkeur ingebed in een sterk lokaal kader.

Dit rapport beoogt voorstellen te doen over de versterking van de landelijke afstemming van het onderzoek, onderwijs en organisatie-structuur in de biologie, geplaatst in het kader van de wetenschappelijke uitdagingen in dit vakgebied en de snelle veranderingen binnen de maatschappij in haar geheel.

Het rapport is voorbereid door een commissie die door de Biologische Raad en het Decanenoverleg Biologie voor dit doel in het leven is geroepen (zie bijlage 1). Deze Commissie Disciplineplan Biologie heeft zich, mede door haar werkwijze waarbij geregeld terugkoppeling naar de diverse faculteiten heeft plaatsgevonden, verzekerd van een breed draagvlak voor haar analyses en aanbevelingen.

Biologisch onderzoek is zo oud als de mensheid zelf. Sinds de tweede helft van de 20e eeuw heeft het onderzoek in steeds sterkere mate een experimenteel karakter gekregen, waardoor het mogelijk werd via het toetsen van hypothesen tot biologische modellen te komen. Hiervoor is zowel de ontwikkeling van nieuwe technieken als de opkomst van nieuwe concepten verantwoordelijk geweest. Zo heeft de opkomst van moleculair biologische technieken in de laatste 25 jaar voor grote doorbraken gezorgd, hetgeen nieuwe dimensies heeft gegeven aan het onderzoek binnen nagenoeg alle gebieden van de biologie. Daarnaast is grote technische vooruitgang geboekt door de ontwikkeling van geavanceerde microscopische en biofysische technieken, waardoor structureel en functioneel onderzoek mogelijk werd, zelfs aan levende organismen. Voorts is de opkomst van krachtige computers bepalend geweest voor de sterke ontwikkeling van onder meer de bio-informatica. Dit heeft mede geresulteerd in een krachtige impuls voor onderzoek aan signaaltransductiepaden, complexe biologische systemen en evolutionaire processen. Een voorbeeld van een nieuw concept dat een sterke impuls heeft gegeven aan de theoretische vernieuwing, is de zogenaamde speltheorie binnen zowel de gedragsbiologie als de ecologie.

Als gevolg van deze snelle ontwikkelingen in de afgelopen jaren is onze kennis op het terrein van een groot aantal fundamentele biologische processen sterk toegenomen. Belangrijke voorbeelden hiervan zijn a) onze huidige inzichten in complexe biologische systemen als neurale netwerken en ecosystemen; b) onze mogelijkheden om individuen en populaties te onderscheiden aan de hand van genetische markers, teneinde meer inzicht te krijgen in evolutionaire processen op populatieniveau, alsmede voor fylogenie-reconstructie; c) onze kennis van cellulaire regulatiemechanismen en signaaloverdracht; d) onze mogelijkheden om macromoleculaire structuren op te helderen, mede door het gebruik van immunologische en moleculaire technieken; e) de mogelijkheden tot het modificeren van het genoom van planten, dieren en micro-organismen.

Meer recent is van een toenemend aantal organismen, inclusief de mens, de complete genetische informatie beschikbaar gekomen. Gekoppeld aan de opkomst van de bio-informatica om deze informatiestroom te verwerken, biedt dit ongekennde nieuwe mogelijkheden om fundamenteel biologische vragen op te helderen. In combinatie met te verwachten snelle technische ontwikkelingen, zal het biologisch onderzoek zich de komende jaren sterk gaan verbreden, en via een multidisciplinaire aanpak de meest fundamentele aspecten van het functioneren van levende organismen gaan bestuderen. Daarbij zullen de volgende vragen centraal staan:

- A. Hoe geeft de genomische informatie invulling aan ontwikkeling, structuur en functioneren van het organisme?

Biologen zijn altijd al gefascineerd geweest door de hoge mate waarin organismen aangepast zijn aan hun omgeving. Evolutiebiologen hebben dit altijd uitgelegd als een gevolg van het feit dat natuurlijke selectie een optimaliseringsproces is, dat in de richting van hogere fitness en dus van betere adaptatie van organismen werkt. Recent is er echter meer aandacht ontstaan voor biologische processen die minder efficiënt tot adaptatie lijken te leiden dan op basis van een optimaliseringsproces verwacht zou mogen worden. Voorbeelden hiervan zijn gevechten tussen dieren, die vaker tot verwondingen leiden dan nodig lijkt om een winnaar te bepalen. De staart van de pauw lijkt eerder een handicap dan een voordeel te zijn voor zijn overleving. Mannelijke dieren produceren enorme hoeveelheden sperma, terwijl een fractie daarvan genoeg zou zijn om alle vrouwtjes die zij gedurende hun leven ontmoeten, te bevruchten. Al deze voorbeelden hebben één ding met elkaar gemeen: selectieve krachten blijken sterk afhankelijk te zijn van de morfologie, de fysiologie en het gedrag van soortgenoten. Dit fenomeen, dat bekend staat als de frequentie-afhankelijkheid van selectie, heeft als belangrijke consequentie dat selectie over het algemeen niet naar een 'fitness optimum' zal streven, maar volgens een zogenoemde 'evolutionair stabiele strategie' (ESS) zal werken, waarbij diverse competinge strategieën met elkaar in evenwicht zijn.

ESS kan op het eerste gezicht zeer inefficiënt lijken, maar dat komt slechts door het bijzondere karakter van het selectieproces. De pioniers in de evolutiebiologie beschouwden frequentie-afhankelijke selectie als een bijzonder geval, dat in de praktijk minder van belang was. Nu weten we echter wel beter: frequentie-afhankelijke selectie is van belang voor bijna alle selectie-scenario's op alle niveaus van biologische organisatie. Het denken in termen van ESS heeft een revolutionair effect gehad op onderzoeksterreinen als de gedragsbiologie en de dierecologie. Het wordt nu duidelijk dat ook de moleculaire biologie en de medische biologie profijt kunnen hebben van deze nieuwe inzichten, bijvoorbeeld bij processen als 'genomic imprinting', meiose, het functioneren van het immuunsysteem en de interactie tussen moeder en embryo gedurende de zwangerschap. Evolutionaire speltheorie, de biologische subdiscipline die ESS bestudeert, heeft een sterke overeenkomst met de speltheorie die het menselijk gedrag onderzoekt. Er zijn goede redenen om aan te nemen dat menselijk gedrag door dezelfde principes gestuurd wordt, en dat de uitkomst van conflicten net zo inefficiënt kan zijn als op het eerste gezicht de uitkomst van frequentie-afhankelijke selectie.

*Dr. J.M. Tinbergen, Dr. F.J. Weissing, Rijksuniversiteit Groningen  
(j.m.tinbergen@biol.rug.nl)*

- B. Hoe vindt op cellulair niveau de communicatie tussen biologisch actieve moleculen plaats en wat is hierbij de rol van de celstructuur?
- C. Hoe vormen cellen zich tot organen en hoe functioneren organen binnen een multicellulair organisme?
- D. Hoe signaleert een organisme veranderingen in zijn omgeving en hoe kan het zich daaraan aanpassen?
- E. Hoe zijn evolutionair de soorten en hun onderlinge interacties ontstaan, en hoe ontwikkelen deze interacties zich in een veranderende omgeving?

Gekoppeld aan bovengenoemde vraagstellingen zal de aard van het biologisch onderzoek sterk veranderen. Steeds meer zal het accent liggen op het bestuderen van de functie van genen in relatie tot fenotype, fysiologie en gedrag van organismen. Daarbij zal de biologie zich nadrukkelijk ontwikkelen tot een op inzichten en synthese gebaseerde, exacte wetenschap. Naast het beschrijven van biologische processen is het immers nu ook mogelijk geworden in deze processen in te grijpen en ze te sturen. Deze grote vooruitgang zal ook resulteren in een steeds sterkere integratie van onderzoek op verschillende organisatieniveaus, gekoppeld aan inpassing van onderzoek vanuit aanpalende vakgebieden. Dit zal er toe leiden dat de biologie steeds belangrijker wordt als kerndiscipline binnen zowel de exacte wetenschappen als de levenswetenschappen. Daarnaast speelt de biologie een steeds belangrijkere rol als drager van wetenschappelijke ontwikkelingen binnen maatschappelijk relevante toepassingsgebieden. Zo worden twee belangrijke pijlers van onze economie, te weten de biotechnologie en de voedingstechnologie, in sterke mate gevoed door nieuwe kennisontwikkeling op het terrein van de fysiologie en de moleculaire biologie. Dankzij deze nieuwe inzichten zijn er ook doorbraken te verwachten in onze kennis van de biologische achtergrond van humane ziektebeelden.

## 2.2

### *Breedte van het biologisch onderzoek*

Biologisch onderzoek vindt in onze samenleving plaats binnen een diversiteit aan wetenschappelijke onderzoeksinstellingen, waarbij het onderzoek afhankelijk van de doelstelling onderverdeeld kan worden in een drietal categorieën:

- a. Fundamenteel onderzoek naar de algemene wetmatigheden die ten grondslag liggen aan de levende natuur. Dit vooral door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek moet leiden tot nieuwe wetenschappelijke concepten die voedend zijn voor al het hierna genoemde onderzoek. Dit zuiver wetenschappelijk onderzoek stelt zich tot doel via wetenschappelijke publicaties specifieke wetenschapsgebieden nader te ontwikkelen.
- b. Strategisch onderzoek gericht op het beantwoorden van door de samenleving gestelde vragen op het gebied van milieu, gezondheid, voedselvoorziening, biodiversiteit, etc. Dit basale onderzoek bouwt binnen de gestelde problematiek voort op de algemene concepten ontwikkeld onder a) en stelt zich tot doel de kennis op het gebied van genoemde maatschappelijke vraagstukken via wetenschappelijke publicaties te vergroten.



Het succes van levende organismen wordt grotendeels bepaald door het vermogen om zich aan te passen aan veranderingen in hun leefomgeving. Zo kunnen diverse plantensoorten hun fysiologie en anatomie aanpassen aan overstromingen en kunnen sommige dieren hun kleur aanpassen aan die van de achtergrond. Ook hersenen passen zich steeds weer aan om nieuw verkregen informatie op te slaan, terwijl cellen in ons lichaam door signalen van buiten aangezet kunnen worden tot groei. Een van de belangrijkste speerpunten binnen het biologisch onderzoek vormt dan ook de analyse van de manier waarop organismen en cellen veranderingen in hun omgeving waarnemen en daar vervolgens op reageren.

Een voorbeeld van onderzoek aan signaaloverdracht bij adaptatie is de spectaculaire versnelling van de strekkingsgroei van stengels en bladstelen bij sommige plantensoorten, zoals de Moeraszuring. Dankzij deze aanpassing kunnen dergelijke planten overleven in gebieden waar regelmatig overstromingen optreden, zoals in uiterwaarden. Vanuit een ecologische vraagstelling waarom Moeraszuring wel in uiterwaarden voorkomt en een verwante soort als Veldzuring niet, kan de fysiologie van strekkingsgroei onderzocht worden en kunnen de moleculaire signalen die verantwoordelijk zijn voor dit proces, geanalyseerd worden.

Met behulp van lasertechnologie is aangetoond dat het gas ethyleen een cruciale rol speelt bij de strekkingsgroei van de Moeraszuring tijdens overstromingen. Vervolgonderzoek moet aangeven welke door ethyleen in de plant geactiveerde signaalmoleculen bij dit proces betrokken zijn. Hiertoe worden via moleculair genetische technieken genen opgespoord die bij het strekkingsproces betrokken zijn, gebruikmakend van de natuurlijk aanwezige, genetische variatie binnen deze plantensoort.

Dit ecofysiologisch onderzoek naar de verspreiding van soorten en populaties in natuurlijke leefmilieus is een voorbeeld van multidisciplinair onderzoek waarbij vanuit een ecologische onderzoeksvraag, via een biochemisch fysiologische analyse van betrokken mechanismen, op moleculair niveau relevante genen worden opgespoord en bijbehorende signaaltransductiepaden worden opgehelderd.

*Prof. dr. L.A.C.J. Voesenek, Universiteit Utrecht (l.a.c.j.voeselek@bio.uu.nl)*



c. Marktgericht onderzoek, al dan niet in opdracht uitgevoerd, naar bovengenoemde door de samenleving gestelde vragen, met als doel het ontwikkelen van gerichte analysemethoden en specifieke producten. Dit toepassingsgericht onderzoek richt zich met name op uitdagingen vanuit de marktsituatie, en stelt zich primair tot doel de specifieke resultaten aan de opdrachtgever te rapporteren, of waar mogelijk via octrooien vast te leggen.

De biologische faculteiten van universiteiten, alsmede de relevante KNAW (NIOB, NIOO, NIH, CBS, IOI EN ICIN) en NWO (NIOZ) instituten zijn primair bedoeld voor onderzoek binnen de categorieën a) en b). Instituten zoals het NKI en het CLB, alsmede biologisch gerichte DLO en TNO instituten en gespecialiseerde instellingen zoals RIVM, IHE en NNM-Naturalis, zijn primair bedoeld voor onderzoek binnen de categorieën b) en c). De industrie (biotechnologisch, voedings-technologisch, farmaceutisch, etc.) verricht daarnaast allerlei vormen van biologisch onderzoek, dat gevolgd wordt door een technologisch ontwikkeltraject bedoeld om de vindingen om te zetten in een commercieel eindproduct.

Door de grote aantrekkingskracht van biologisch onderzoek en de steeds dominantere positie van de biologie in de samenleving, vindt er daarnaast binnen aanpalende universitaire faculteiten in toenemende mate biologisch relevant onderzoek plaats, dat complementair is aan dat van de faculteiten biologie zelf. Dit aspect van integratie van biologisch onderzoek zal in dit rapport nader worden uitgewerkt (paragraaf 2.4). Daarnaast is de biologie uniek in het feit dat er ook buiten universiteiten en researchcentra zeer veel kennis aanwezig is bij maatschappelijk betrokken instanties (bijv. op het gebied van natuurbescherming) en bij verenigingen en consumentenorganisaties (kennis van planten, dieren, etc). Ook specifiek voor de biologie is de aanwezigheid van diverse wetenschappelijke collecties, inclusief botanische tuinen, die mede bijdragen aan de rol van de universiteiten als kenniscentra voor de samenleving. Gesteld kan dan ook worden dat het onderzoek dat plaats vindt aan de biologie-faculteiten als een kern gezien moet worden, waar omheen veel ander biologisch relevant onderzoek plaatsvindt, zowel binnen als buiten de universiteiten. Daarbij zijn de universitaire biologie-opleidingen de eerst aangewezen voor de opleiding van alle biologen op academisch niveau die binnen bovengenoemde categorieën van onderzoek werkzaam zijn.

### 2.3 *Profilering van het universitair onderzoek in de biologie*

Bovengeschetste kernfunctie van de biologie-faculteiten, op zowel het terrein van het wetenschappelijk onderwijs als op dat van het wetenschappelijk onderzoek, vereist een heldere inventarisatie en onderlinge afbakening van taken tussen deze faculteiten. Immers, de biologie is zich sterk aan het verbreden en krijgt een steeds grotere maatschappelijke impact. De wetenschappelijke uitdagingen die op ons afkomen, vragen om een duidelijke clustering van kwalitatief hoogwaardig, interfacultair onderzoek, waarbij ongewenste dubblures en exclusieve claims vermeden worden. De grootschalige investeringen die

voor deze ontwikkelingen vereist zijn, zullen slechts kunnen renderen als het onderzoek ingepast is in thematische eenheden met voldoende kritische massa.

Daarenboven zijn er zowel wetenschappelijk inhoudelijke als organisatorische ontwikkelingen in de biologie, die een afbakening van onderzoekstaken op dit ogenblik zeer opportuun maken. De recente wetenschappelijke ontwikkelingen in de biologische wetenschappen hebben er toe geleid dat de klassieke indeling van onderzoek aan planten, dieren en micro-organismen aan het vervagen is. Gezien het feit dat de genetische opbouw van al dergelijke organismen zeer vergelijkbaar is, is de keuze van het modelsysteem momenteel sterk ondergeschikt geworden aan de vraagstelling. Zo vindt veel voor het humane systeem relevant onderzoek momenteel plaats aan eencelligen en aan lagere modelorganismen zoals aaltjes, vliegen en vissen. Traditioneel bestond er binnen de biologie een scheiding tussen onderzoek op moleculair, organismaal en populatie-niveau. Momenteel is er sprake van een steeds sterkere integratie van het onderzoek op deze verschillende biologische organisatieniveaus, resulterend in onder meer een toenemend gebruik van moleculaire technieken voor onderzoek op populatieniveau. Ook is er dank zij het gebruik van transgene organismen een nauwe relatie ontstaan tussen moleculaire processen enerzijds en fysiologische en organismale processen anderzijds.

Bovenstaande ontwikkelingen hebben er toe geleid dat in het huidige biologisch onderzoek het organisme waaraan gewerkt wordt in toenemende mate ondergeschikt is geworden aan de onderzoeksvraagstelling. Eenzelfde onderzoeksvraagstelling bestudeerd aan verschillende organismen heeft duidelijk een meerwaarde boven een clustering van inhoudelijk verschillend onderzoek aan eenzelfde organisme. Dit biedt de mogelijkheid om tot onderzoeksprofilering te komen op basis van de wetenschappelijk inhoudelijke argumenten, los van de traditionele indeling in biologische subdisciplines. Daarnaast is het biologisch wetenschappelijk onderzoek organisatorisch ondergebracht in interdisciplinaire onderzoekscholen op landelijk of lokaal niveau. Het oprichten van dergelijke onderzoekscholen heeft geleid tot een sterk inhoudelijke clustering van interdisciplinair onderzoek, waarbij ook de para-universitaire instituten voor biologisch onderzoek betrokken zijn. Deze onderzoekscholen vormen daarmee een belangrijke katalysator in het streven om te komen tot onderzoeksprofilering. Voorts vervullen zij de belangrijke functie van opleidingsinstituten voor onderzoekers en geven daarmee uitwerking aan het sterk veranderde karakter van het promotie-onderzoek, van levenswerk naar initiële onderzoekersopleiding.

Wetenschappelijk onderzoek is per definitie dynamisch van karakter. De discussies die door de Commissie Disciplineplan Biologie zijn geëntameerd – voortbouwend op de analyses van de Verkenningcommissie Biologie en de aanbevelingen uit de Onderzoekbeoordeling Biologie (vsNU, 1999) – hebben geleid tot een gemeenschappelijk gedragen visie op de onderzoeksthema's waarop het biologisch onderzoek in Nederland zich in de toekomst dient te richten. Deze thema's sluiten nauw aan bij de internationale ontwikkelingen

binnen het biologisch vakgebied en zijn gebaseerd op inhoudelijke vraagstellingen, los van gebruikte technieken of modelsystemen. Deze – zeven – inhoudelijke onderzoeksthema's kunnen als volgt kort worden omschreven:

A. Signaaloverdracht bij adaptatie

Onderzoek naar de vraag hoe cellen en organismen zich aanpassen aan een veranderende omgeving en welke signalen bij dergelijke adaptatie-processen een rol spelen.

B. Werking van het zenuwstelsel

Onderzoek aan de prikkeloverdracht in zenuwen en het functioneren van de hersenen.

C. Regulatie van cellulaire fysiologie

Onderzoek naar de vraag hoe cellulair gedrag te begrijpen is op basis van interacties tussen de aanwezige macromoleculen.

D. Ontwikkelingsprocessen

Onderzoek aan de processen die betrokken zijn bij de ontwikkeling van een embryo tot een volwassen organisme.

E. Dynamiek van biodiversiteit

Onderzoek naar de mechanismen die bepalen hoe soorten ontstaan, zich handhaven en weer verdwijnen.

F. Multitrofe interacties

Onderzoek naar de overlevingskansen van soorten in relatie tot hun interacties met andere soorten.

G. Ecosysteemprocessen

Onderzoek naar de parameters die de dynamiek van natuurlijke en door de mens aangelegde ecosystemen bepalen.

Deze typisch biologische onderzoeksthema's sluiten direct aan bij de in paragraaf 2.1 genoemde centrale wetenschappelijke vragen die de biologie wil beantwoorden. Deze thema's worden niet alleen bestudeerd binnen een veelheid aan fundamenteel biologische vraagstellingen, maar ook ten behoeve van maatschappelijk relevante problemen, met name in relatie tot: (i) genoomanalyse, voor onderzoek naar de relatie tussen genetische informatie en het functioneren van organismen; (ii) biotechnologie, ten behoeve van onder meer voedselproductie en medicijnontwikkeling; (iii) duurzaamheid en exploitatie van ecosystemen; (iv) biologische fundamenteen van ziekten; (v) voedingsbiologie, en (vi) de biologische achtergrond van milieuproblematiek en 'global change'. Deze maatschappelijk relevante problemen vergen een combinatie van fundamenteel, strategisch en marktgericht onderzoek waarbij door wederzijdse interactie snel en gericht naar adequate oplossingen gezocht kan worden.

Ten behoeve van de profilering van het universitair biologisch onderzoek in Nederland, is het gewenst dat het onderzoek per instelling zich concentreert op

*Centrale wetenschappelijke vragen – zie paragraaf 2.1 – vertaald naar onderzoeksthema's a t/m g:*

- Hoe geeft de genomische informatie invulling aan ontwikkeling, structuur en functioneren van het organisme? → Onderzoeksthema's B, C en D.
- Hoe vindt op cellulair niveau de communicatie tussen biologisch actieve moleculen plaats en wat is hierbij de rol van de celstructuur? → Onderzoeksthema's B en C.
- Hoe vormen cellen zich tot organen en hoe functioneren organen binnen een multicellulair organisme? → Onderzoeksthema B.
- Hoe signaleert een organisme veranderingen in zijn omgeving en hoe kan het zich daaraan aanpassen? → Onderzoeksthema's A en G.
- Hoe zijn evolutionair de soorten en hun onderlinge interacties ontstaan, en hoe ontwikkelen deze interacties zich in een veranderende omgeving? → Onderzoeksthema's E, F en G.

een beperkt aantal onderzoeksprogramma's, die passen binnen een of meer van de bovengenoemde onderzoeksthema's. Uitgangspunt moet hierbij zijn dat meerdere leerstoelhouders samenwerken in een onderzoeksprogramma dat inhoudelijk coherent en van erkende kwaliteit is. Daarenboven dient het programma bij voorkeur versterkt te worden door een lokaal kader van aanpalend onderzoek, bijvoorbeeld in de vorm van interdisciplinaire onderzoekscholen of een samenwerkingsverband met een of meerdere para-universitaire instituten. In overleg met en met instemming van de biologie-faculteiten zijn op deze wijze 24 biologische onderzoeksprogramma's geformuleerd, zoals inhoudelijk beschreven in bijlage II. In sommige gevallen zijn deze onderzoeksprogramma's directe afgeleiden van de participatie van biologische groepen in onderzoekscholen, maar in andere gevallen zijn geheel nieuwe inhoudelijke samenwerkingsverbanden geformuleerd. Per onderzoeksprogramma is de inhoudelijke coherentie aangegeven, alsmede de versterking van het thema door het lokaal kader. Het is duidelijk dat met name voor de nieuw geformuleerde samenwerkingsverbanden interne versterking van de coherentie nog nader geconcretiseerd dient te worden. De verwachting is echter gerechtvaardigd dat van het formuleren van deze onderzoeksprogramma's met name ook voor de toekomst een sterk middelpunt-zoekende werking uit zal gaan, die past bij het streven van de diverse biologie-faculteiten om zich duidelijk te profileren.

Uiteraard dienen deze biologische onderzoeksprogramma's aantoonbaar van goede kwaliteit te zijn. Gezien de beoordeling van het biologisch onderzoek aan de Nederlandse universiteiten door de VSNU (zie het rapport van de Onderzoekbeoordeling Biologie, 1999) en het recente rapport 'Wetenschaps- en Technologie-Indicatoren 2000' (NOWT, 2001) kan gesteld worden dat de kwaliteit van het biologisch onderzoek in Nederland naar internationale maatstaven inderdaad (zeer) hoog is. Ten tweede moet duidelijk zijn dat de onderzoeksprogramma's, versterkt door het aanwezige lokale kader, over voldoende kritische

massa moeten kunnen beschikken. De betreffende gegevens zijn bij de beschrijvingen van de onderzoeksprogramma's opgenomen. Ten derde moeten de onderzoeksprogramma's er op zich en in combinatie voor zorgen dat het universitair biologisch onderzoek in ons land een internationaal belangrijke bijdrage kan leveren aan de genoemde biologische onderzoeksthema's. In bijlage IIIA is weergegeven hoe ieder van de onderzoeksprogramma's bijdraagt tot de invulling van een of meerdere onderzoeksthema's. Uit deze bijlage blijkt dat als gevolg van de voorgestelde profilering elk van de biologie-faculteiten zijn activiteiten zal gaan concentreren op een beperkt aantal onderzoeksthema's, echter met een dusdanige landelijke complementariteit dat toch een goede dekking blijft bestaan van onderzoek binnen alle zeven thema's.

De specifieke bijdrage die het Nederlandse biologisch onderzoek levert aan de zeven genoemde onderzoeksthema's volgt uit de omschrijving van de 24 onderzoeksprogramma's, en kan als volgt worden samengevat:

- A. (Signaaloverdracht bij adaptatie) Het onderzoek richt zich met name op stress-adaptatie door, al dan niet door de mens geïnduceerde, veranderingen in biotische en abiotische omgevingsfactoren. Het vindt plaats aan zowel planten, dieren als micro-organismen, op zowel populatieniveau, organismaal niveau, orgaan-niveau (waaronder de hersenen) als moleculair en cellulair niveau.
- B. (Werking van het zenuwstelsel) De accenten liggen met name op de ontwikkeling van de hersenen, de mechanismen die de plasticiteit van de hersenen bepalen en de relatie tussen hersenfuncties en gedrag. Daarnaast vindt onderzoek plaats aan de moleculaire mechanismen van signaaloverdracht in neurale systemen en de controle van neuro-endocriene regulatiecentra in de hersenen.
- C. (Regulatie van cellulaire fysiologie) Het onderzoek richt zich met name op bestudering van de moleculaire mechanismen van signaaloverdracht en de communicatie tussen cellen en organismen, veelal in relatie tot de dynamiek van de cellulaire structuur, de inductie van genexpressie en celtransportprocessen. Daarnaast wordt op cellulair niveau onderzoek verricht aan de structuur-functie relatie van biologisch actieve macromoleculen en hun dynamische interacties, doorgaans in combinatie met studies gerelateerd aan functional genomics.
- D. (Ontwikkelingsprocessen) Het ontwikkelingsbiologisch onderzoek concentreert zich op planten, gewervelde dieren en lagere multicellulaire modelorganismen. Het onderzoek richt zich met name op de regulatie van genexpressie en de bijbehorende signaaltransductie-processen bij differentiatieprocessen en orgaanvorming.
- E. (Dynamiek van biodiversiteit) Het onderzoek concentreert zich op de rol van externe factoren op de biodiversiteit, waaronder menselijk ingrijpen en global change. Hierbij worden evolutionaire principes getoetst in relatie tot evolutionaire fitness van individuen en de genetische samenstelling van populaties. Daarnaast vindt taxonomisch onderzoek aan biodiversiteit plaats.
- F. (Multitrofe interacties) Dit onderzoek richt zich met name op moleculaire analyse van signaalmoleculen betrokken bij plant-pathogeen interacties, en op de rol van soortinteracties bij de regulatie van populatiegrootte en het ontwikkelen van evolutionair stabiele strategieën.



Binnen het bij uitstek multidisciplinaire terrein van de neurowetenschappen speelt de neurobiologie een leidende en integrerende rol, aangezien zij als geen andere discipline in staat is om bruggen te slaan naar vakgebieden als de biochemie, de biofysica, de psychologie en de geneeskunde. Het centrale zenuwstelsel (czs) vormt het meest complex georganiseerde systeem op aarde en inzicht in het functioneren ervan wordt als een van de grootste uitdagingen gezien voor de komende eeuw. Het bestuderen van het proces van signaaltransductie op het niveau van de enkele neurale cel zal daarbij sterk profiteren van de vele nieuwe ontwikkelingen op het gebied van fysisch optische en moleculaire biologische technieken. Op dit integratieniveau zal de 'functional genomics' een centrale rol gaan spelen bij het ophelderen van de functie van een breed scala aan in het czs gelokaliseerde eiwitten, gebruik makend van site-directed mutagenese, reguleerbare geninductie en transgenese. Via tagging van essentiële componenten in de cel zal inzicht verkregen worden in de dynamiek van eiwit-eiwit interacties, gebruik makend van biofysische technieken als FRET.

Opheldering van de basale eigenschappen van chemische neurotransmissie in al haar moleculaire complexiteit zal nodig zijn om de meest cruciale varianten van neuron-neuron communicatie en informatie-integratie te begrijpen. In het verlengde daarvan zal onderzoek aan plasticiteit van functionele verbindingen in de hersenen inzicht verschaffen in processen op organismaal niveau zoals leergedrag en de werking van het geheugen. De anatomie zal nadrukkelijk betrokken worden bij dit type onderzoek, dat in steeds sterkere mate kwantitatief en functioneel van aard zal worden. Doorbraken zijn hierbij op allerlei niveaus te verwachten. Op het gebied van de enkele cel ligt de uitdaging op de relatie tussen de vorm en functie van het neuron, hetgeen compartimentale verwerking van informatie mogelijk maakt. Op het niveau van lokale neuronale netwerken begint er inzicht te komen in de consequenties van zenuwverbindingen voor functie en stabiliteit, waarbij nieuwe ontwikkelingen op het gebied van optische registraties het onderzoek een extra dimensie zullen geven. Om de topologische relaties tussen grotere hersengebieden in kaart te brengen, wordt momenteel gebruik gemaakt van een veelheid aan nieuwe technieken. Dankzij moderne functionele imaging technieken zoals fMRI is het voor het eerst mogelijk lokalisatiestudies te verrichten naar allerlei hersenfuncties. De integratie van psychologie en gedragsbiologie kan dit facet een extra dimensie geven.

De inbreng van de ontwikkelingsbiologie in het onderzoek aan het zenuwstelsel is alleen al gezien de complexiteit van het czs uniek. Grote doorbraken zijn nog nodig om de principes van (zelf)organisatie te begrijpen die de functionele ontwikkeling van het czs sturen. Vergelijkbare doorbraken in theorievorming zijn nodig om informatieverwerking op een hoger en abstracter niveau te beschrijven. Hetzelfde geldt voor de analyse van interacties tussen hersenfuncties en fysiologische systemen. Het is evident dat computermodellering in hoge mate zal bijdragen aan het opzetten en toetsen van consistente theorieën. Het gebruik van nieuwe generaties supercomputers voor het doorrekenen van modellen en het inzichtelijk afbeelden van ingewikkelde analysepatronen zal nodig zijn om deze vraagstukken in al hun omvang aan te pakken. Tenslotte zal er nadrukkelijk ook een maatschappelijke vraag zijn naar inzicht in de oorzaak en behandeling van een groot aantal czs gerelateerde ziekten. Zij vormen nu al een aanzienlijk deel van de kosten van de gezondheidszorg en gezien de verwachte vergrijzing van de samenleving zal hun aandeel alleen maar toenemen.

*Prof. dr. W.J. Wadman, Universiteit van Amsterdam (wadman@bio.uva.nl)*

G. (Ecosysteemprocessen) Het onderzoek richt zich op planten, dieren en micro-organismen, zowel in aquatische systemen (zoet en zout) als terrestrische (agro-)ecosystemen. Aan de hand van populatie-genetische analyses wordt onderzoek verricht aan de rol van stofstromen, milieufactoren en menselijk handelen (natuurbeheer) op de stabiliteit van ecosystemen.

Het fundamentele onderzoek dat plaatsvindt binnen biologisch gerichte para-universitaire instituten (zie de Strategienota Onderzoeksorganisatie KNAW 2000) sluit door zijn complementariteit goed aan bij de genoemde universitaire onderzoeksprogramma's, hetgeen mede blijkt uit de gezamenlijke participatie in onderzoekscholen (zie bijlage III). Naast biologisch gerichte onderzoeksprogramma's vindt er binnen de biologie-faculteiten ook onderzoek plaats op het gebied van biologie-onderwijs (UU) en aan de maatschappelijke implicaties van biologisch onderzoek (VU). In zijn totaliteit kan gesteld worden dat de hier voorgestelde onderzoeksprofilering indicatief is voor de coherentie en het integratief karakter van het universitair biologisch onderzoek in ons land. Bijlage IV geeft een overzicht van de leerstoelhouders die binnen de diverse onderzoeksprogramma's actief zijn.

## 2.4

### *Integratie van biologisch onderzoek*

Zoals eerder gesteld, vormen de biologie-faculteiten de kern van het wetenschappelijk biologisch onderzoek, waaromheen veel complementair, biologisch relevant onderzoek plaats vindt binnen zowel universitaire als para-universitaire instellingen. Dit soort onderzoeksinteracties vinden onder meer plaats met vakgebieden als de medische wetenschappen, chemie, fysica, farmacologie, milieuwetenschappen, aardwetenschappen, diergeneeskunde, landbouw- en technische wetenschappen, wiskunde, informatica en psychologie. Ook hier is veelal sprake van gezamenlijke participatie in onderzoekscholen (zie bijlage III).

Vanuit de medische wetenschappen wordt naast patiënt-gericht onderzoek met name veel onderzoek verricht aan de biologische basis van humane ziektebeelden. Accenten liggen hierbij op genetisch onderzoek aan humaan materiaal en aan relevante niet-humane modelsystemen op het gebied van aangeboren en verworven ziekten, en op meer algemene moleculaire processen als genstructuur, expressieregulatie en DNA repair. Daarnaast vindt er endocrinologisch onderzoek plaats aan groei, voortplanting en hormonale ziekten, alsmede immunologisch onderzoek aan infectieziekten, auto-immuunziekten, chronische ziekten, weefseltransplantatie, en het ontstaan en de werking van afweercellen. Het neurologisch onderzoek spitst zich vooral toe op de neuro-anatomie, de neuro-endocrinologie en de neuro-degeneratieve ziekten. Ook vindt veel onderzoek plaats aan de moleculaire mechanismen die ten grondslag liggen aan ziekten als kanker, hart- en vaatziekten en metabole afwijkingen (gegevens afkomstig uit KNAW en VSNU 'Discipline report on (bio)medical and health sciences research in the Netherlands 1998', 1999).

Vanuit de chemie wordt veel onderzoek verricht aan de structuur- functie relatie van macromoleculen en het functioneren van biologische membranen, alsmede aan de organische synthese van natuurstoffen en (medisch) biologisch relevante verbindingen. Vanuit de fysica worden met name technieken ontwikkeld die biologen en biofysici gezamenlijk in staat stellen onderzoek te verrichten aan signaalverwerking in levende systemen, aan elektrofysiologische eigenschappen van cellen en aan de dynamische eigenschappen van cellulaire componenten. Daarnaast is er een sterke ontwikkeling gaande vanuit de fysica en de wiskunde om biologische problemen op een kwantitatieve manier te beschrijven aan de hand van een modelmatige benadering. De landbouw- en milieu-wetenschappen steunen sterk op biologisch onderzoek op ecosysteem-niveau, terwijl de aardwetenschappen belangrijk complementair onderzoek doen voor het evolutionair gerichte biologisch onderzoek. Daarenboven vindt binnen de psychologie onderzoek plaats dat complementair is aan het neurobiologisch en gedragsonderzoek in de biologie.

In steeds sterkere mate vormen de bio-informatica en de biotechnologie verbindende elementen in het biologisch onderzoek. De nog steeds exponentieel groeiende hoeveelheid biologische gegevens, gekoppeld aan de sterk toegenomen effectieve beschikbaarheid van deze gegevens via de informatietechnologie, heeft geleid tot een steeds sterkere coherentie, diepgang en efficiëntie binnen het onderzoek in de levenswetenschappen. Toekomstige ontwikkelingen in het biologisch onderzoek zullen sterk gekoppeld blijken aan ontwikkelingen op het gebied van de bio-informatica. De biotechnologie neemt als toepassingsgebied een steeds belangrijkere positie in, mede vanwege het maatschappelijk en economisch belang. Ook bij de ontwikkeling van de biotechnologie speelt de opkomst van de bio-informatica een belangrijke rol. Bio-informatica en biotechnologie vormen dan ook een steeds belangrijker verbindingselement tussen het onderzoek aan de biologie-faculteiten en aanpalende disciplines enerzijds en dat binnen technische universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven anderzijds.

## 2.5

### *De biologie-faculteiten als kenniscentra*

De recente ontwikkelingen in de biologie hebben er toe geleid dat het wetenschappelijk onderzoek zich momenteel sterk richt op functionele analyses, veelal gebruik makend van moleculaire technieken. Gezien de interne en externe druk om zich wetenschappelijk aan te sluiten bij de meest recente ontwikkelingen, heeft dit geleid tot een reductie in de meer beschrijvende onderzoeksrichtingen, met name op organismaal niveau. Dergelijke veranderingen zijn inherent aan het dynamische karakter van wetenschappelijk onderzoek, maar als gevolg van deze ontwikkelingen dreigt wel bepaalde kennis uit ons land te verdwijnen, enerzijds omdat er nog weinig onderzoek in plaats vindt, anderzijds omdat er geen nieuwe biologen in opgeleid worden. Nu al zijn veel biologie-faculteiten voor hun onderwijs in bijvoorbeeld de anatomie, morfologie, systematiek en embryologie van planten en dieren afhankelijk van de specifieke expertise van een oudere lichte docenten, zonder duidelijk



perspectief op continuïteit van deze kennis op langere termijn. Deze tendens zou in de toekomst kunnen leiden tot een uitholling van de universiteiten als kenniscentra binnen onze samenleving. Daarnaast wordt echter ook steeds meer gerealiseerd dat deze meer algemeen biologische kennis door zijn integratief karakter richting gevend en voedend kan zijn voor het huidige, meer moleculair gerichte onderzoek met zijn reductionistische karakter. Om te voorkomen dat essentiële biologische kennis verdwijnt, is het gewenst dat op een aantal specifieke terreinen nationale kenniscentra worden opgericht, waarin de aanwezige kennis landelijk wordt gebundeld en in onderlinge afstemming wordt bewaakt en verdiept. In navolging van de vorming van het Nationaal Herbarium, waardoor de kennis in Nederland op het gebied van de plantensystematiek is gewaarborgd, lijkt het opportuun ook de kennis op het terrein van de diersystematiek landelijk in de vorm van een kenniscentrum te bundelen, waarbij het NNM-Naturalis nadrukkelijk betrokken dient te worden.

Ook wat betreft de reflectieve zijde van het onderwijs in de biologie is een landelijke bundeling gewenst. Wijsgerige biologie, waaronder de bio-ethiek, geschiedenis van de biologie en aspecten van de mathematische biologie, vormt een essentieel onderdeel van alle biologie-curricula, maar onder druk van bezuinigingen kan dit onderwijs niet op alle faculteiten in voldoende diepte gegeven worden. De leerstoelen 'Didactiek van de Biologie' aan de uu en 'Biologie en Samenleving' aan de vu zouden initiërend moeten werken om in overleg met de andere universiteiten tot een afbakening van taken met landelijke dekking te komen. Concluderend kan gesteld worden dat het opzetten van dergelijke kenniscentra niet alleen van belang is voor de toekomst van het wetenschappelijk onderzoek, maar ook essentieel is voor de breedte van het academisch onderwijs in de biologie en voor de rol van universiteiten als dynamische kenniscentra in zijn algemeenheid.

## 2.6 *Verwachte ontwikkelingen in het biologisch onderzoek*

Het biologisch onderzoek, dat de afgelopen jaren op allerlei terreinen een grote vlucht heeft genomen, zal zich de komende jaren met kracht verder ontwikkelen. Dit geldt niet alleen voor de fundamentele vragen binnen de biologie, maar ook voor de toepassingen van het biologisch onderzoek op het terrein van de gezondheidszorg (ontwikkeling van selectievere medicijnen en therapieën), de voedseltechnologie (optimalisering en versterking van de fysiologische en ecologische basis van voedselproductie) en de milieu- en energieproblematiek (beheer van ecosystemen en landgebruik). Biologische technologieën, inclusief de ontwikkeling van biomaterialen, zullen tot de meest vitale sectoren van onze economie gaan behoren. Mede door dit directe maatschappelijke belang, zullen de biologische wetenschappen uitgroeien tot een van de meest dominante terreinen van wetenschappelijk onderzoek. Gezien het directe belang van biologische kennis voor de mens, met name op fysiologisch, pathologisch en technologisch terrein, zullen deze ontwikkelingen een directe maatschappelijke en economische impact hebben met grote consequenties voor ons dagelijks leven.

Fantastisch, zo ver als de moleculair biologische wetenschappen zijn gekomen in de vorige eeuw! We kennen de meeste voor het leven belangrijke stoffen, hun metabole routes en de betrokken enzymen. We kennen de macromoleculaire structuren, vaak vrijwel tot op atomaire resolutie, en de daarvoor coderende nucleinezuren. We begrijpen werkingmechanismen en weten hoe moleculen in staat zijn tot transcriptieregulatie en signaaltransductie. En op de valreep kwamen daarbij de complete genoomvolgorden beschikbaar van gist, *E. coli* en de mens. Maar wat was ook alweer het uiteindelijke doel van de moleculaire biologie? Ik denk, het leven te begrijpen in termen van samenwerkende moleculen. Wat dat betreft voel ik mij toch nog steeds vaak als een Amsterdammer op een bijeenkomst van computerspecialisten in Tokyo. Ik herken sommige woorden als computer, hard disk, RAM, etc., maar toch kan ik het gesprek niet volgen. Wij kennen weliswaar alle componenten van de legpuzzel, maar dat wil nog niet zeggen dat wij de puzzel ook in elkaar kunnen zetten.

Wat missen wij dan nog? Karakteristiek voor de levende cel is dat de componenten waaruit deze is opgebouwd, op een niet-lineaire manier met elkaar interacties aangaan, hetgeen betekent dat het karakteristieke gedrag van deze componenten verandert met de condities. Omdat deze condities in de levende cel bepaald worden door de gezamenlijke activiteiten van de diverse componenten, hangt het gedrag van elke component dus af van de aanwezigheid van andere componenten. Het is dan ook zaak om het gedrag van elke component te bepalen onder intracellulaire condities. Nieuwe biofysische, biochemische en moleculair genetische technieken hebben het mogelijk gemaakt om inderdaad deze levende cel te betreden. Natuurlijk willen wij het *in vivo* gedrag van moleculen ook kunnen begrijpen aan de hand van hun *in vitro* gedrag. Dan is het echter wel van belang dat het *in vitro* gedrag bestudeerd wordt onder condities die precies overeenkomen met die in de levende cel, bijvoorbeeld wat betreft de concentraties van de gebruikte eiwitten.

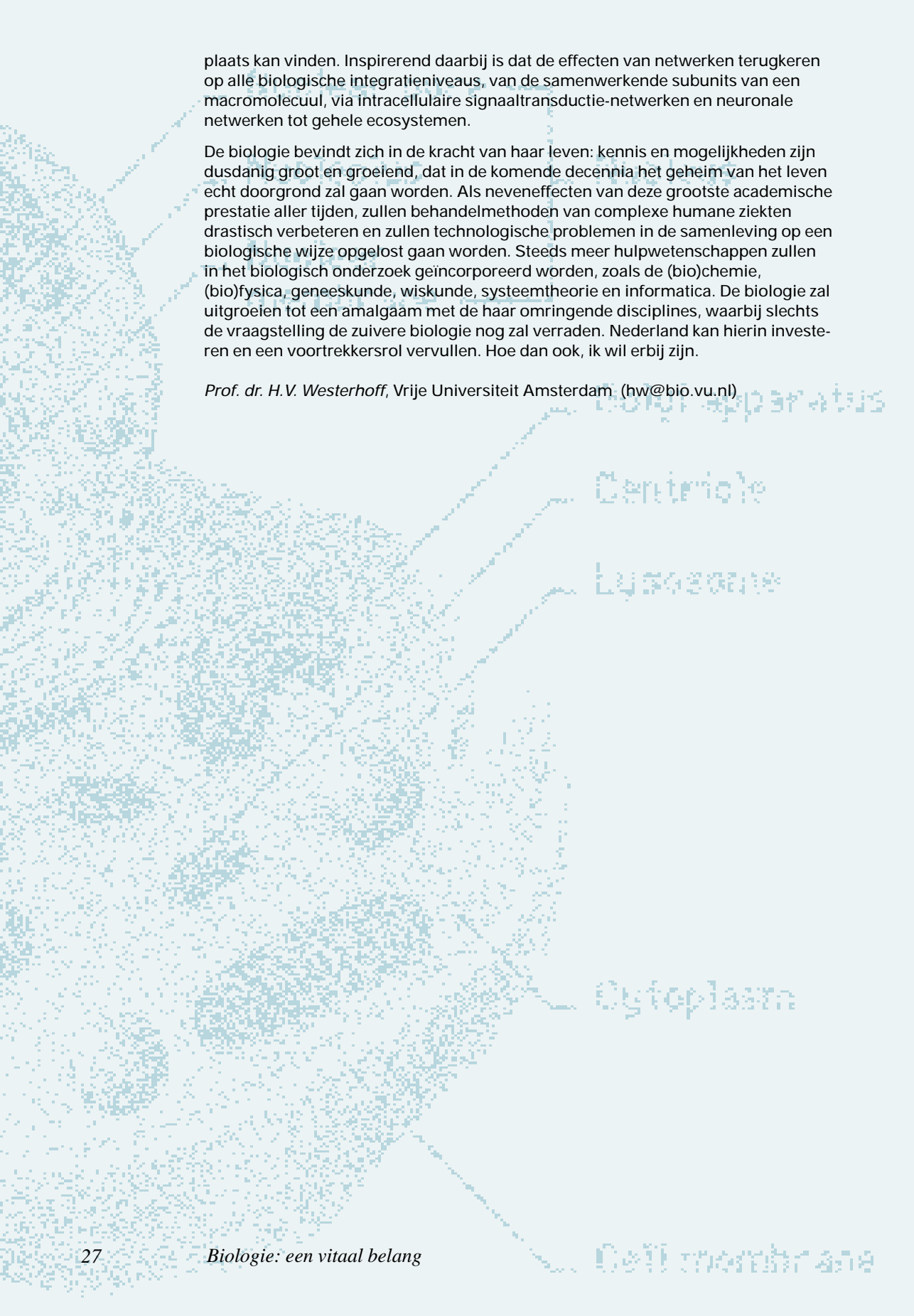
Individueel zijn 'hooligans' lieve jongens, maar eenmaal samen gedragen zij zich opeens geheel anders. Zo ontstaan ook door interacties binnen netwerken van cellulaire componenten geheel nieuwe, zogenoemde emergente eigenschappen. Veel voor het leven essentieel gedrag is emergent. Men denke aan de celcyclus, aan ATP synthese door de  $H^+$ -ATPase in de mitochondriën of aan de actiepotentiaal in zenuwcellen. Daarnaast zijn er de geërfde hysterese-eigenschappen, zoals het hebben van een plasmamembraan of de aanwezigheid van mitochondriën. Met alleen onderzoek naar de aminozuurvolgorde of de exacte ruimtelijke structuur van een eiwit als Ras komen wij er niet. Het zijn uiteindelijk de bindingsconstanten en katalytische eigenschappen van dit eiwit die bepalen welke signalen in de cel gegenereerd worden. De essentie ligt in een combinatie van individuele eigenschappen van moleculen, hun vermogen tot zelforganisatie (emergente eigenschappen) en hun hysterese-eigenschappen in relatie tot hun structuur. Om het functioneren van de levende cel te begrijpen, zullen wij die essentie in zijn geheel moeten proberen te begrijpen, hetgeen gerealiseerd kan worden door kwantitatief te experimenteren en kwantitatief te analyseren hoe moleculaire netwerken leiden tot het gedrag van de levende cel. In dat opzicht verschilt de hedendaagse integratieve biologie methodisch maar weinig van bijvoorbeeld de chemie en de natuurkunde.

Het inzicht dat de netwerken, meer nog dan de individuele moleculen, van belang zijn om het leven te begrijpen, wint steeds meer terrein. Voorbeelden zijn de neurobiologie met haar netwerken en de celbiologie met haar signaaltransductie. Ook in de tumorbiologie lijkt het zoeken naar dat ene oncogen plaats te maken voor het besef dat het gaat om een ontregeling van een netwerk, dat op vele manieren

plaats kan vinden. Inspirerend daarbij is dat de effecten van netwerken terugkeren op alle biologische integratieniveaus, van de samenwerkende subunits van een macromolecuul, via intracellulaire signaaltransductie-netwerken en neuronale netwerken tot gehele ecosystemen.

De biologie bevindt zich in de kracht van haar leven: kennis en mogelijkheden zijn dusdanig groot en groeiend, dat in de komende decennia het geheim van het leven echt doorgrond zal gaan worden. Als neveneffecten van deze grootste academische prestatie aller tijden, zullen behandelmethode van complexe humane ziekten drastisch verbeteren en zullen technologische problemen in de samenleving op een biologische wijze opgelost gaan worden. Steeds meer hulpwetenschappen zullen in het biologisch onderzoek geïncorporeerd worden, zoals de (bio)chemie, (bio)fysica, geneeskunde, wiskunde, systeemtheorie en informatica. De biologie zal uitgroeien tot een amalgaam met de haar omringende disciplines, waarbij slechts de vraagstelling de zuivere biologie nog zal verraden. Nederland kan hierin investeren en een voortrekkersrol vervullen. Hoe dan ook, ik wil erbij zijn.

*Prof. dr. H.V. Westerhoff, Vrije Universiteit Amsterdam (hw@bio.vu.nl)*



Wat betreft de invulling van de vijf eerder genoemde fundamentele vragen binnen de biologie, kunnen in algemene zin de volgende kanttekeningen geplaatst worden. De opkomst van de bio-informatica heeft geleid tot een belangrijke inventariserende fase binnen het biologisch onderzoek, waarbij belangrijke gegevens zijn verzameld over genoomsequenties, expressieprofielen en eiwitconformaties. Hoewel deze technologische fase nog niet ten einde is, komt het accent steeds nadrukkelijker te liggen op onderzoek naar de mogelijkheden om, gebruik makend van deze in omvang steeds verder toenevende bestanden, de functies van individuele genen en hun producten te bestuderen op cellulair en organismaal niveau. Dit onderzoek aan functional genomics legt daarmee een directe link tussen het moleculaire niveau enerzijds en het cellulaire en organismale niveau anderzijds. Deze ontwikkelingen vereisen wel dat er voldoende kennis op anatomisch en fysiologisch niveau aanwezig is om de resultaten op organismaal niveau adequaat te kunnen interpreteren. Nederland kan gezien het hoge niveau van het fysiologisch onderzoek op dit terrein internationaal een voortrekkersrol gaan vervullen.

Met name als gevolg van de technische doorbraken die in het afgelopen decennium hebben plaatsgevonden, is de inventarisatie van de componenten die voor de regelprocessen in de levende cel verantwoordelijk zijn, nagenoeg afgerond. Als gevolg daarvan kunnen nu in de biologische wetenschappen hypothesen getoetst worden aan de hand van kwantitatieve analyses en kunnen de eigenschappen van de levende natuur op een volledige, wetmatige, toetsbare en modelleerbare wijze bestudeerd worden. Deze ontwikkelingen zijn gebaseerd op het feit dat op korte termijn (1) de complete genoomsequentie van veel organismen opgehelderd is (genoom-projecten), (2) elk van de daardoor gecodeerde eiwitten bekend is en tot elke gewenste concentratie tot expressie gebracht kan worden (gentechnologie), (3) van alle moleculen in de cel concentraties bepaald kunnen worden (gebruik makend van technieken als gene micro-arrays, NMR, massaspectrometrie en infrarood-spectroscopie), (4) het gedrag van eiwitten real-time in de levende cel te volgen is (imaging technieken), (5) veranderingen in de structuur van katalytische componenten te volgen zijn (time-resolved x-ray spectroscopie), (6) cellen in weefsels functioneel en dynamisch geanalyseerd kunnen worden (imaging technieken), (7) de functionele rol van individuele genproducten op zowel cellulair als organismaal niveau bestudeerd kan worden (functional genomics en transgene organismen), en (8) de verkregen informatie verwerkt en gemodelleerd kan worden (bio-informatica). Het gedrag van complexe macromoleculen kan daardoor voor het eerst op een kwantitatieve wijze en in interactie met een dynamische achtergrond onderzocht worden. Nederland heeft de potentie om op het terrein van deze zogenoemde integratieve biologie internationaal gezien een vooraanstaande rol te spelen, omdat alle componenten van dit type onderzoek op kwalitatief hoogstaand niveau aanwezig zijn.

Veel fysiologische processen zijn het resultaat van complexe netwerken in cellen en organismen, en alleen te begrijpen als op integratieve wijze vanuit de bovengenoemde disciplines de werking van de diverse componenten met

elkaar in verband kan worden gebracht. Er ligt dan ook een grote uitdaging om de kennis op cellulair niveau te vertalen naar het niveau van organen en gehele organismen. Met name op het terrein van de neuro- en gedragswetenschappen worden hierbij grote doorbraken verwacht, omdat begrip van het functioneren van onze hersenen en zenuwstelsel zeer tot de verbeelding spreekt. Naast de genoemde moleculaire benaderingen uitgaande van het genoom, en de cellulair benaderingen uitgaande van moleculaire interacties, zullen met name ook biofysische en imaging technieken het mogelijk maken processen in de levende cellen van intacte organen te bestuderen. Zowel op het terrein van het neurobiologisch onderzoek als in het onderzoek aan cellulaire signaaloverdracht neemt Nederland internationaal een vooraanstaande positie in, hoewel de aanwezige expertise momenteel meer op moleculair en cellulair, dan op organismaal niveau ligt.

Inhoudelijk zullen de ontwikkelingen die zich hebben voorgedaan op moleculair biologisch niveau, in toenemende mate hun toepassing vinden binnen alle vakgebieden van de biologie. De evolutiebiologie heeft hier al sterk van geprofiteerd, hetgeen heeft geleid tot nieuwe inzichten over het ontstaan van biodiversiteit. Ook voor het ophelderen van ecologische vraagstellingen wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van moleculaire en fysiologische technieken. Het Nederlands ecologisch onderzoek concentreert zich met name op adaptatieprocessen en op het vergroten van de inzichten van het functioneren van natuurlijke en agro-ecosystemen, de terreinen waarbinnen de grootste vooruitgang te verwachten is.

Zoals eerder gememoreerd, ontwikkelt biologie zich sterk tot een interdisciplinaire wetenschap, waarbij onderzoek op meerdere organisatie-niveaus geïntegreerd wordt. Aangezien de biologie zich hierbij nadrukkelijk in een exacte richting begeeft, zal het biologisch onderzoeksterrein ook steeds aantrekkelijker worden voor onderzoekers uit andere disciplines, zoals chemici, fysici, informatici en wiskundigen, omdat zij binnen de inherente significantie van biologische vraagstellingen nu ook de methodieken vanuit hun eigen vakgebied steeds beter kunnen toepassen. Als gevolg hiervan zullen de klassieke grenzen tussen genoemde vakgebieden vervagen en zal door een gezamenlijke inzet van expertises een zo volledig mogelijke karakterisering van biologische systemen mogelijk worden.

Door deze ontwikkeling zal er echter ook een toenemende behoefte komen aan interdisciplinair opgeleide exacte wetenschappers, een aspect waarmee in de curricula van alle exacte opleidingen rekening gehouden moet worden.

Evident zal het strategische onderzoek aan maatschappelijk direct relevante problemen veel accent krijgen. Verwacht mag worden dat gebruik makend van de nieuwe biologische inzichten grote vorderingen gemaakt zullen worden in ons begrip van ziekteprocessen, met name in relatie tot kanker, hart- en vaatziekten, auto-immuunziekten en infectieziekten. Ook hier moet gerealiseerd worden dat dergelijke ziekten veelal niet het gevolg zijn van een enkel defect, maar meer van een ontregeling van cellulaire netwerken, die eerst in detail

ontrafeld zullen moeten worden alvorens op gerichte wijze medicijnen kunnen worden ontwikkeld. Technologische vorderingen in relatie tot voedselproblematiek en medicijnontwikkeling zullen door de huidige bio-informatische input nieuwe dimensies krijgen, waarbij universiteiten en het bedrijfsleven steeds belangrijkere samenwerkingspartners zullen worden. Ook de problematiek van veranderingen in ons leefmilieu, de consequenties daarvoor voor de diversiteit van het leven op aarde en de vraag hoe te komen tot een duurzame ontwikkeling van onze planeet, zullen de komende jaren een steeds belangrijkere impuls worden voor het biologisch onderzoek. Via wiskundige modellen zal het inzicht in het functioneren van die systemen toenemen en daarmee zal een bijdrage worden geleverd aan de bestuurbaarheid van dit soort levende systemen, hetgeen rationele oplossingen van mondiale milieuproblemen mogelijk maakt. Verkenningen naar mogelijke ontwikkelingsrichtingen kunnen worden gebaseerd op de kennis en inzichten van het functioneren van die systemen en de daarin plaatsvindende fysische, chemische en ecologische basisprocessen.

Nederland heeft internationaal een goede positie in het onderzoek aan de levende natuur. Gerealiseerd moet worden dat de komende ontwikkelingen binnen zowel het fundamentele als het toegepaste biologisch onderzoek grote investeringen zal vragen. Om de goede positie van ons land binnen dit maatschappelijk en economisch zo belangrijke onderzoek maximaal uit te buiten, zullen de financiële middelen voor dit onderzoek dan ook op zijn minst in de pas moeten lopen met die van de ons omringende landen. Daarnaast zal, om het integratieve karakter van dit onderzoek aan de levende materie goed tot zijn recht te laten komen, vermeden moeten worden dat er een versnippering van activiteiten optreedt, waarbij specifieke technische ontwikkelingen exclusief door bepaalde vakgebieden worden geclaimd. Nu wetenschappers uit andere disciplines zich in toenemende mate op biologisch onderzoek gaan richten, wordt de huidige scheiding van wetenschapsgebieden binnen onderzoeksfinancierende organisaties als NWO dan ook eerder als remmend dan als stimulerend ervaren.

Biologisch onderzoek begeeft zich, wellicht per definitie, op terreinen die vanwege de maatschappelijke implicaties ethisch zeer gevoelig kunnen liggen. De mogelijkheden om bestaande organismen te kloneren, alsmede het gebruik van genetisch gemodificeerde organismen bij de productie van voedingsstoffen, roepen heftige emoties op. Meer dan ooit zal van biologische onderzoekers gevraagd worden ook ethische aspecten bij hun onderzoek te betrekken. Anderzijds ligt er de uitdaging bij biologische onderzoekers om de maatschappij op een juiste en begrijpelijke wijze te informeren over mogelijkheden, onmogelijkheden, gewenste effecten en ongewenste neveneffecten van de door hen gebruikte methodieken. Een terughoudende opstelling van de overheid bij het gebruik van nieuwe biologische technieken zal Nederland echter in een achterstandspositie plaatsen ten opzichte van de ons omringende landen en onze toekomstige positie in de internationale kennis-economie op het spel zetten.

Om onze internationale positie te versterken, zullen de Nederlandse universiteiten zich ook gericht moeten inzetten om wetenschappelijk talent niet onnodig verloren te laten gaan. Te veel potentiële topwetenschappers haken in een te vroeg stadium af, omdat de universiteiten hun te weinig toekomstperspectief kunnen bieden. Door het uitstippelen van carrièrelijnen voor toptalent, waarbij naast internationale wetenschappelijke scholing ook aandacht besteed wordt aan onderwijskundige en beleidsmatige aspecten van het beroep van wetenschapper, kan er voor gezorgd worden dat Nederlandse universiteiten aantrekkelijke plaatsen blijven voor het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek op topniveau. Deze problematiek beperkt zich overigens niet tot de discipline biologie; zie bijvoorbeeld ook het recente rapport van mevrouw Van Vucht Tijssen (2000). De persoonsgerichte steunvormen die de universiteiten, NWO en KNAW bieden (zoals het programma Akademie onderzoekers, PIONIER-subsidies en de ‘vernieuwingsimpuls’) dragen bij tot het verlichten van de problematiek, maar vormen slechts een deel van de oplossing.

In de laatste twee decennia is de ontwikkelingsbiologie geëvolueerd van een beschrijvende wetenschap tot een vakgebied waarbinnen onderliggende mechanismen centraal staan. Dank zij het gebruik van nieuwe benaderingsmethoden, waaronder vooral genetische en moleculaire, en meer recent ook biochemische, hebben zich belangrijke nieuwe ontwikkelingen voorgedaan. Een van de belangrijkste verworvenheden van de moderne ontwikkelingsbiologie is het inzicht dat de diverse mechanismen die ten grondslag liggen aan processen als celgroei, celvermeerdering, morfogenese en differentiatie zeer vergelijkbaar zijn bij alle levende organismen. Zo blijken bijvoorbeeld de genen die de celcyclus reguleren in gist en planten zeer homolog te zijn. Ook blijken dezelfde mechanismen ten grondslag te liggen aan het vastleggen van corticale asymmetrie en celpolariteit in protozoa, schimmels, planten en dieren, en zijn er parallellen gevonden in het basale ontwikkelingsplan van gewervelde en ongewervelde dieren.

De controle van de genetische expressie, die de basis vormt voor het proces van cellulaire differentiatie, blijkt eveneens bij zeer verschillende levensvormen op een vergelijkbare manier te werken. Zo is vastgesteld dat 'chromatin remodeling factors' en 'genomic imprinting' zowel bij planten als bij dieren aanwezig zijn. Daarnaast blijken transcriptiefactoren zoals homeobox-eiwitten betrokken te zijn bij de lichaamsopbouw van alle metazoa in het dierenrijk. Aan de andere kant is recent bij de stekelhuidigen gevonden dat bepaalde transcriptiefactoren die betrokken zijn bij het vastleggen van de symmetrie van het ontwikkelingsplan, door de diverse klassen binnen deze stam voor steeds nieuwe functies gebruikt worden, waardoor de diversiteit binnen de stam zich aldoor verder uitbreidt. Daarbij zal het in de komende jaren een belangrijke uitdaging zijn om te begrijpen hoe de verschillende functionele componenten van de gedifferentieerde cel bijdragen tot enerzijds de ontwikkeling van het individu en anderzijds de diversiteit tussen bestaande organismen.

*Prof. dr. C. Mariani, Katholieke Universiteit Nijmegen (mariani@sci.kun.nl)*



De zeven universitaire biologie-opleidingen in Nederland zijn de primair verantwoordelijken voor het opleiden van academisch gevormde studenten in de biologie. Academisch gevormde biologen vinden hun weg op vele plaatsen in de maatschappij, zowel binnen het academisch en bedrijfsmatig wetenschappelijk onderzoek als in talloze beleidsbepalende functies en het onderwijs. Bij de opleiding moet dan ook het verwerven van academische vaardigheden centraal staan, waardoor biologen in staat zijn adequaat te reageren op de eisen van de huidige maatschappij.

Gezien de centrale rol die de biologie speelt binnen zowel de exacte wetenschappen als de levenswetenschappen en gezien ook de toenemende belangstelling voor onderzoek dat zich richt op biologische vraagstellingen, zullen biologisch geschoolde academici op steeds meer plaatsen in de samenleving werkzaam zijn. Een toenemend aantal onderzoekers in instituten en bedrijven zal een biologische opleiding gevolgd hebben. Nu al heeft een groot deel van de onderzoekers aan medische faculteiten en academische ziekenhuizen een (medisch) biologische opleiding als achtergrond. Daarnaast bestaat er vanuit de fysica-, chemie- en wiskunde-opleidingen van zowel de algemene als de technische universiteiten een toenemende behoefte en noodzaak om biologische onderdelen in het curriculum op te nemen. Gezien de afname van het aantal studenten in deze andere exacte wetenschappen, zullen biologen in de toekomst een steeds belangrijkere rol moeten gaan spelen bij het voorzien in de maatschappelijke behoefte aan exact opgeleide wetenschappers. Hierin kan worden voorzien door verbredingsmogelijkheden, i.c. een versterking met andere exacte vakken, in de biologie-curricula aan te bieden.

Deze ontwikkelingen, gekoppeld aan de sterke verbreding van het biologische vakgebied met zijn in toenemende mate multidisciplinaire karakter, vragen om een goede landelijke afstemming van onderwijstaken tussen de universiteiten onderling. Para-universitaire instituten en andere biologische onderzoeksinstituten kunnen daaraan op basis van hun gespecialiseerde kennis een belangrijke bijdrage leveren in alle fasen van de opleiding. Ook de recente onderwijskundige vernieuwingen, waarbij de academische opleidingen opgesplitst worden in een gescheiden bachelor- en master-opleiding, vragen om een herijking van de onderwijsprogramma's in de biologie. Centraal bij deze discussie moet het uitgangspunt zijn dat er per universiteit brede bachelor-opleidingen in de biologische wetenschappen worden aangeboden, welke uitstroom bieden naar een palet van master-opleidingen.

Dergelijke driejarige bachelor-opleidingen hebben veelal een lokale kleur, maar bezitten alle duidelijke en helder geformuleerde, academische eindtermen. Die gemeenschappelijk vastgestelde en uniforme eindtermen maken mobiliteit van studenten tussen de bsc en msc fase goed mogelijk. De bachelor-opleidingen zijn bij voorkeur opgebouwd uit een algemene fase en een diffe-

rentiatiefase. Tijdens de algemene fase dient alle stof in de biologie en relevante steunvakken gedoceerd te worden die voor studenten in de biologie essentieel is, ongeacht hun latere specialisatie. De biologie-faculteiten (of daarmee equivalente organisatorische eenheden) dienen dusdanig gestructureerd te zijn, dat zij in staat zijn zelf het biologisch onderwijs in de algemene fase van de bachelor-opleiding in de biologie te verzorgen. Dit vereist dat er in ieder geval leerstoelen aanwezig zijn binnen de volgende biologische kennisgebieden: evolutie en soortvorming, moleculair en cel, fysiologie en ontwikkeling, populatie en ecosystemen. De meer interdisciplinaire bachelor-opleidingen in de biologische wetenschappen (bijvoorbeeld in de medische biologie en moleculaire levenswetenschappen) dienen bij voorkeur interfacultair georganiseerd te worden. Indien nodig kunnen strategische allianties met andere universiteiten afgesloten worden, wanneer er voor specifieke onderdelen binnen de eigen universiteit te weinig expertise bestaat.

Tijdens de differentiatiefase van de bachelor-opleiding in de biologie dienen de diverse biologische subdisciplines in de vorm van gespecialiseerde cursussen behandeld op het niveau en in de breedte van een up-to-date tekstboek, waarbij tevens expliciet aandacht geschonken moet worden aan methoden voor het opzetten van wetenschappelijk onderzoek. Bedoelde cursussen dienen een breed overzicht te geven van de diverse vakgebieden binnen de biologie, en derhalve geen afspiegeling te zijn van de toevallig aanwezige specialismen. Gezien de steeds grotere diversiteit aan vakgebieden binnen de biologie, kan hierbij echter per universiteit niet naar volledigheid gestreefd worden. Uitgangspunt moet zijn dat bij het ontbreken van relevant geachte differentiatiefase-cursussen aan de eigen instelling, studenten gebruik kunnen maken van het aanbod aan andere universiteiten. Van para-universitaire biologische instituten mag worden verwacht dat zij, gezien hun gespecialiseerde, landelijk unieke expertise, bereid zijn te participeren in door de universiteiten georganiseerde differentiatiefase-cursussen. Daarnaast kunnen universiteiten de breedte van hun aanbod aan differentiatiefase-cursussen verhogen door aanstelling van deeltijdhoogleraren en bijzonder hoogleraren met een onderzoekstaak elders, waarbij overigens de eindverantwoordelijkheid bij de universitaire leerstoelhouders moet blijven liggen. Gezien het losstaande karakter van de bachelor-opleiding dient deze fase bij voorkeur afgerond te worden met een korte onderzoekstraining.

Tijdens de twee-jarige master-opleidingen dienen de studenten in de onderzoeksgebieden van hun keuze theoretisch en praktisch opgeleid te worden tot het huidige kennisniveau van het gekozen specialisme. Dit kan uitsluitend als de benodigde specialistische kennis binnen dat vakgebied aanwezig is. Het verdient dan ook aanbeveling dat de biologie-faculteiten master-opleidingen gaan aanbieden die in het directe verlengde liggen van hun onderzoeksprofiel, zoals geformuleerd in de biologische onderzoeksprogramma's van bijlage II. Daarnaast zullen bredere, interfacultaire masteropleidingen aangeboden kunnen worden, bijvoorbeeld in de medische biologie en moleculaire levenswetenschappen, terwijl ook de mogelijkheid van interuniversitaire master-

opleidingen nadrukkelijk bekeken moet worden. Master-opleidingen dienen internationaal van karakter te zijn, waarbij studenten niet alleen gebruik kunnen maken van het landelijke aanbod van stagemogelijkheden, maar tevens via internationale netwerken gestimuleerd worden een van hun stages in het buitenland uit te voeren. Ook hier blijft het van belang dat een docent van de eigen instelling eindverantwoordelijk is voor de inhoudelijke kwaliteit van dergelijke stages. Voor de studenten die in de master-fase de communicatieve-educatieve variant (inclusief lerarenopleiding) of maatschappelijke variant volgen, dienen de faculteiten duidelijke opleidingstrajecten aan te bieden, die voldoen aan de behoefte van studenten om zich maatschappelijk te oriënteren en in te spelen op de vanuit de samenleving gevraagde deskundigheid en academische expertise.

De internationale aantrekkingskracht van de Nederlandse biologie-faculteiten is de laatste jaren sterk toegenomen, mede door de hoge kwaliteit van met name de PhD opleidingen in de onderzoekscholen. Die tendens past goed bij de politieke wens om de internationale positionering van het Nederlandse academisch onderwijs en onderzoek te versterken. In een aantal faculteiten heeft de oriëntatie op de internationale positie van onderwijs en onderzoek al zijn vertaling gevonden in de opzet van de curricula, gekoppeld aan selectie en internationalisering van de programma's. Bovenstaande overwegingen dienen nadrukkelijk betrokken te worden bij de discussies over de internationalisering van de diverse onderdelen van academische opleidingen. Tenslotte zij gesteld dat gezien de grote maatschappelijke behoefte aan creatief en kritisch opgeleide academici, het onderwijs tijdens de gehele opleiding bij voorkeur verzorgd dient te worden door docenten die zelf in het wetenschappelijk onderzoek werkzaam zijn.

Het leven op aarde is met vallen en opstaan geëvolueerd tot de huidige diversiteit van naar schatting tien miljoen verschillende soorten. Van al deze organismen moet waarschijnlijk 90% nog ontdekt en beschreven worden. De biodiversiteit op aarde vertegenwoordigt een onvervangbaar goed, doordat zij de mens voorziet van voedsel, materialen, brandstoffen en medicijnen, en bijdraagt aan het welbevinden van de mens door haar esthetische, culturele en recreatieve waarden. Daarnaast regelt biodiversiteit vitale ecosysteemfuncties als nutriëntencycli en de natuurlijke regulatie van ziekten en plagen. Wereldwijd verdwijnt de diversiteit binnen de natuur op alle niveaus van biologische organisatie met een alarmerende snelheid, van het niveau van genen en soorten tot dat van gehele ecosystemen, als gevolg van habitatfragmentatie, ontbossing, vervuiling en de introductie van exoten.

Vanwege deze maatschappelijke ontwikkelingen, maar ook in het kader van de fundamentele vraag in de biologie naar het ontstaan van biodiversiteit door middel van processen als differentiatie en soortvorming, is het van groot belang te begrijpen hoe soorten en hun onderlinge netwerken ontstaan, hoe zij voortbestaan in een vijandige omgeving en waarom zij uiteindelijk verdwijnen. Daarvoor is het van belang te onderzoeken hoe ecosystemen functioneren. Centraal in het onderzoek naar soortvorming staat de vraag welke genveranderingen nodig zijn voor reproductieve isolatie en wat de relatieve bijdrage hierbij is van processen als selectie en drift. Ook onderzoek naar de rol van zogenoemde generalisten en specialisten in het ecosysteem bij de regulatie van soortenrijkdom is hierbij van groot belang. Als eenmaal bekend is welke diversiteit nodig is voor een bepaalde ecosysteemfunctie, kunnen aard en omvang van de te beschermen diversiteit nader bepaald worden. Streven hierbij is dat dit op een dusdanige manier gebeurt dat soorten de mogelijkheid behouden zich aan te passen en te evolueren, zodat nieuwe soorten en interacties kunnen blijven ontstaan.

Naast de al eerder genoemde factoren treden er momenteel wereldwijd belangrijke klimaatveranderingen op. Het is van groot belang te onderzoeken op welke wijze deze veranderingen de biodiversiteit zowel lokaal als globaal beïnvloeden. Voor een aantal soorten zullen de daaruit resulterende veranderingen in leefmilieu wellicht te snel gaan om zich aan te kunnen passen, terwijl andere daar wel toe in staat zullen zijn. Grote veranderingen kunnen gaan optreden in de verspreiding van soorten, met als gevolg dat de mogelijkheden voor het verbouwen van voedingsgewassen drastisch kunnen gaan veranderen en er nieuwe ziekten en plagen kunnen ontstaan. In evolutionair opzicht is er niets nieuws onder de zon, maar de vraag is gerechtvaardigd of het tempo en de intensiteit van de huidige veranderingen inderdaad uitzonderlijk zijn.

Het monitoren van veranderingen in biodiversiteit verschaft informatie over de toestand van ecosystemen en over hun aanpassingen als gevolg van verstoringsprocessen en beheersmaatregelen. Aangezien veranderingen meestal pas met enige tijdsvertraging optreden, doet zich hierbij de paradox voor dat op korte termijn de biodiversiteit in een ecosysteem tijdelijk kan toenemen, doordat de oorspronkelijke soorten die zich niet goed kunnen aanpassen nog niet zijn uitgestorven, terwijl er van buiten reeds nieuwe soorten zijn binnengekomen die profiteren van de geïntroduceerde verstoring.

*Prof. dr. S.B.J. Menken, Universiteit van Amsterdam (menken@bio.uva.nl)*

## Organisatie-structuur van biologisch onderzoek en onderwijs

Tot voor enige jaren waren de biologie-faculteiten relatief onafhankelijke eenheden wat de organisatie van hun onderzoek en onderwijs betreft. Dit beeld is sterk veranderd met de instelling van onderzoekscholen en de invoering van de MUB als organisatiestructuur voor de universiteiten. De meeste biologie-faculteiten zijn actief in interfacultaire of zelfs landelijke onderzoekscholen, waardoor het multidisciplinair en integrerend karakter van het biologisch onderzoek goed tot zijn recht komt. Veel van de bevoegdheden met betrekking tot het onderzoeksbeleid zijn daarbij overgedragen aan de bijbehorende instituten, die door hun gespecialiseerde onderzoek doorgaans echter een beperkte visie op het biologisch onderzoeksterrein in zijn geheel hebben. Het streven binnen de MUB om vakgebieden zoals de biologie te integreren in grotere faculteiten, zal er enerzijds toe leiden dat de traditionele schotten tussen de disciplines doorbroken worden, maar zal anderzijds kunnen resulteren in een verminderde onderlinge afstemming binnen het biologisch onderzoeksterrein.

Op dit moment is de situatie voor de diverse biologie-faculteiten van universiteit tot universiteit verschillend: sommige kennen nog de structuur van een aparte faculteit of subfaculteit onder leiding van een Decaan of Directeur Onderzoek, waardoor er sprake is van een centraal onderzoeksbeleid. Bij andere instellingen vormt de biologie echter nog slechts een opleiding voor studenten onder leiding van een Directeur Onderwijs, zonder centrale coördinatie van het onderzoek. In deze laatstgenoemde situatie kan de daaruit volgende divergentie in onderzoeksprogramma's snel leiden tot een onderlinge vervreemding tussen de diverse biologische vakgebieden, hetgeen het maken van landelijke afspraken over afbakening van onderzoek- en onderwijstaken in de weg kan staan.

Het verdient dan ook aanbeveling dat er per universiteit een *Overlegplatform voor Biologische Wetenschappen* opgericht wordt, waarin in ieder geval de hoogleraren met een leeropdracht in de biologie zitting hebben, zo mogelijk aangevuld met andere hoogleraren met een biologisch gerichte leeropdracht, bijvoorbeeld vanuit de biochemie, de biofysica en preklinische afdelingen van medische faculteiten. Zo'n platform dient een informeel karakter te hebben en als adviespartner op te treden voor onder meer de besturen van faculteiten en onderzoekscholen. Van het platform dient een convergerende werking uit te gaan om te komen tot onderlinge afstemming van het biologisch onderzoek op universitair niveau. Het dient te waken over de implementatie van landelijke afspraken binnen de biologie en door zijn inhoudelijk gezag een adviserende rol te spelen bij het formuleren van profielen voor invulling van leerstoelen in de biologie. Deze platforms vormen daarmee de kernen van waaruit vertegenwoordiging plaats kan vinden in landelijke overlegorganen op het terrein van de biologie.

Binnen de arena waarin processen als natuurlijke selectie en evolutie plaatsvinden, spelen interacties tussen soorten een hoofdrol. Op de evolutionaire tijdschaal induceren dergelijke interacties het ontstaan van nieuwe, essentiële eigenschappen. In de relatie tussen planten en planteneterende insecten, bijvoorbeeld, vindt enerzijds een selectie plaats op de mogelijkheid tot chemische afweer bij de plant en anderzijds op mechanismen tot ontgiftiging bij het insect. De variatie in afweermechanismen bij planten, maar ook in aanpassingsmogelijkheden bij insecten is ongekend groot. De interactie tussen deze beide wordt weer beïnvloed door de natuurlijke vijanden van de planteneters. Zij vormen na de planten en de planteneters het derde trofieniveau. Deze natuurlijke vijanden maken gebruik van vluchtige stoffen en andere signalen van beschadigde planten om hun prooiën te lokaliseren. Hun zoekgedrag is op spectaculaire wijze aangepast waardoor zij binnen een beperkt tijdsbestek een groot aantal prooiën kunnen opsporen. Het leren gebruik te maken van specifieke plantenstimuli speelt daarbij een belangrijke rol. Op hun beurt oefenen deze natuurlijke vijanden weer een selectie uit op de signaalchemie van de planten, maar ook op hun afweerchemie. Als planten namelijk zo giftig of afstotend zijn dat daarmee ook sommige planteneters giftig of afstotend worden, dan worden de natuurlijke vijanden buitenspel gezet. Het nadeel daarvan voor de planten ligt voor de hand.

Ook in de relatie tussen planten en micro-organismen treden dergelijke processen op. In het wortelmilieu van planten komt een scala aan wortelpathogenen voor, onder andere schimmels, aaltjes en bacteriën. Planten scheiden in hun wortelmilieu zogenaamde exudaten uit, die bepaalde niet-pathogene bacteriën of bacteriegroepen stimuleren in hun ontwikkeling. De aanwezigheid van deze organismen kan de aantasting door pathogenen volledig remmen. Ook in dit complex van interacties is er sprake van een subtiele, natuurlijke selectie: aantrekking van organismen levert immers alleen baten op als deze niet-pathogeen zijn en bovendien in staat zijn pathogenen te remmen in hun ontwikkeling. Inzicht in multitrofe interacties, in de werking van signalen, in afweer en aantrekking, geeft niet alleen een kijkje in de evolutionaire arena, maar vormt bovendien de basis voor een duurzame productie van land- en tuinbouwgewassen.

*Prof. dr. E. van der Meijden, Universiteit Leiden (meijden@rulsfb.leidenuniv.nl)*

Op het terrein van zowel het fundamenteel als van het toegepast biologisch onderzoek liggen grote uitdagingen. De resultaten van dit onderzoek zullen grote consequenties hebben voor ons land met zijn kenniseconomie. Wil Nederland internationaal een wezenlijke bijdrage aan deze ontwikkelingen kunnen (blijven) leveren, dan zijn investeringen in kennis, onderzoek, onderwijs en infrastructuur van essentieel belang. De verbreding van het biologisch onderzoek en onderwijs met zijn toenemend interdisciplinaire karakter vraagt om een gezamenlijk beleid van de zeven biologie-opleidingen in ons land. De keuze die in dit rapport wordt gemaakt voor een thematische versterking per instelling, bouwt voort op de circa twintig jaar geleden ingezette en doorgevoerde taakverdeling en concentratie bij de biologie. Om de kern van het biologisch onderzoek te versterken, waardoor deze de steeds groter wordende periferie van veelal toegepast onderzoek aan de levende materie kan blijven voeden, is het belangrijk dat de interactie tussen de dragers van de diverse onderzoeksprogramma's per instelling bevorderd wordt. Om het verlies van noodzakelijke, specifieke kennis en expertise tegen te gaan is het tevens nodig om enige landelijke kenniscentra in de biologie te creëren. Ook is er meer aandacht nodig voor een betere carrièreplanning van onderzoekers aan wetenschappelijke instellingen. Tenslotte blijft er aandacht nodig voor ethische vragen die het biologisch onderzoek kan oproepen, echter zonder dat dit onnodig belemmeringen voor het onderzoek opwerpt.

Deze korte analyse en de beschouwingen in de voorgaande hoofdstukken geven aanleiding tot onderstaande aanbevelingen op het gebied respectievelijk onderzoek en onderwijs. Bij elke aanbeveling staat aangegeven voor welke actoren (cursief aangeduid) zij bedoeld zijn.



## Constateringen en Aanbevelingen Onderzoek

(zie met name hoofdstuk 2)

1

### Constatering

Het biologisch onderzoek in Nederland richt zich in de toekomst op de zeven in dit rapport beschreven onderzoeksthema's: Signaaloverdracht bij adaptatie; Werking van het zenuwstelsel; Regulatie van cellulaire fysiologie; Ontwikkelingsprocessen; Dynamiek van biodiversiteit; Multitrofe interacties; Eco-systeemprocessen. Met deze onderzoeksthema's positioneert Nederland zich biologisch op terreinen waarin het internationaal een voortrekkersrol vervult. Het samenhangende beeld van de biologie in Nederland dat door de lokale inkleuring van deze nationale onderzoeksthema's in de vorm van programma's wordt gecreëerd, biedt de nodige garantie voor het handhaven van de kwaliteit van de discipline biologie in de komende vijf tot tien jaar (zie met name paragraaf 2.3).

### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten, onderzoekscholen:* De in dit rapport geselecteerde 24 onderzoeksprogramma's, die de basis vormen voor de lokale profilering van het universitair biologisch onderzoek, moeten de rol gaan vervullen van onderzoeks-concentratiepunten, ingebed in een kader van onderzoekscholen en para-universitaire instituten.

2

### Constatering

De invoering van de in dit rapport voorgestelde onderzoeksprofilering zal door verschillende actoren moeten plaatsvinden. De KNAW (i.c. de Biologische Raad) heeft daarbij een uitdrukkelijke taak als voortgangsbewakende en adviserende instantie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van door andere partijen uitgevoerde evaluaties (bijvoorbeeld waar het de kwaliteit van onderzoek betreft).

### Aanbeveling

*KNAW:* De Biologische Raad, mogelijk in samenwerking met andere organisaties, dient periodiek de wetenschappelijke onderzoeksprogramma's inhoudelijk te evalueren. Met betrekking tot de noodzaak tot instandhouding en waarborging van de diverse onderzoeksprogramma's dienen aspecten als interne coherentie en meerwaarde van het lokaal kader nadrukkelijk betrokken te worden.

3

### Constatering

Als gevolg van veranderingen in samenstelling van de staf dreigt op een aantal, nationaal onmisbare, gebieden de groepsomvang beneden een kritische grens te komen waardoor continuering niet meer is veiliggesteld. Daarnaast is er voor enkele specifieke terreinen sprake van kleine lokale groepen die meer dan nu een nationale rol zouden kunnen gaan vervullen.

### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten (en NNM-Naturalis):* Voor een aantal specifieke terreinen, zoals diersystematiek (zoölogische collecties), wijsgerige biologie



en didactiek van de biologie, dienen nationale kenniscentra te worden opgericht (zie paragraaf 2.5).

4

#### Constatering

Ten behoeve van de coördinatie van het biologisch onderzoek en de implementatie van landelijke afspraken op dit terrein is een lokaal coördinatiepunt voor biologisch onderzoek gewenst.

#### Aanbeveling

*Hoogleraren biologie binnen de universiteiten:* In die faculteiten die geen centrale onderzoekscoördinatie voor de biologische wetenschappen kennen, wordt de oprichting van lokale overlegplatforms voor de biologische wetenschappen aanbevolen. Deze platforms dienen de cohesie en disciplinaire kracht van het biologisch onderzoek te versterken, en er op toe te zien dat ondanks de huidige sterke verbreding van het biologisch vakgebied een heldere overlegstructuur binnen de kerndisciplines van de biologie gewaarborgd blijft (zie hoofdstuk 4).

5

#### Constatering

De biologie als kerndiscipline en de in belang groeiende maatschappelijke positie van de biologische wetenschappen komen nog onvoldoende tot uiting in de financiële middelen voor dit aandachtsgebied.

#### Aanbeveling

*nwo, universiteiten, faculteiten, minister van ocnw en andere financiers:* De toenemende belangstelling van studenten voor studies aan de levende natuur, de grote opgaven waarvoor de biowetenschappen zich zien gesteld en de directe maatschappelijke relevantie van het betrokken onderzoek, vereisen een versterking van geldelijke middelen voor het Nederlands onderzoeks- en onderwijspotentieel op dit terrein. Dit dient door verhoging van de algemene middelen voor fundamenteel onderzoek plaats te vinden, waarbij een meer dan evenredig aandeel aan onderzoek aan de levende natuur zou moeten worden besteed.

6

#### Constatering

Het vasthouden van (top-)talent binnen de universitaire organisatie wordt steeds moeilijker en stelt daarmee de continuïteit van internationaal vooraanstaand onderzoek steeds meer in de waagschaal. De initiatieven voor een meer persoonsgerichte benadering, inclusief daarbij behorende scholingsprogramma's, verdienen steun.

#### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten, KNAW en NWO:* Voor de toekomst van het biologisch onderzoek in Nederland is het van groot belang dat er een helder carrièrebeleid voor aankomende wetenschappers wordt geformuleerd. Om onnodig verlies van wetenschappelijk talent in ons land te voorkomen, dienen er dan ook carrièrelijnen voor post-docs uitgezet te worden, als voorbereiding op het verwerven van staffuncties aan Nederlandse universiteiten (zie paragraaf 2.6).

### Constatering

Het kunnen doorgronden van basisprincipes van het leven vereist dat er ook in deze processen ingegrepen moet kunnen worden. Te grote restricties opgelegd aan verantwoord wetenschappelijk handelen kunnen daarbij contraproductief werken.

### Aanbeveling

*Regering, parlement:* Biologie speelt een steeds belangrijkere rol in onze kenniseconomie. Met inachtneming van ethische normen binnen onze samenleving, is de ontwikkeling van de biologie gebaat bij een niet-restrictieve wetgeving met betrekking tot de toepassing van nieuwe technologieën in het onderzoek (zie paragraaf 2.6).

## Constateringen en Aanbevelingen Onderwijs

(zie met name hoofdstuk 3)

8

### Constatering

Door de invoering van het bsc/msc/PhD opleidingsmodel kan beter invulling worden gegeven aan de scholing van studenten in het steeds bredere terrein van de biologische wetenschappen.

### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten, onderzoekscholen, Kamer Biologie (vsnu)*: Natuurwetenschappelijke universitaire opleidingen zoals de biologie kunnen het best gestructureerd worden in een 3-jarige bsc fase en een 2-jarige msc fase, waarbij tijdens de bsc fase een brede opleiding met expliciete, academische eindtermen wordt aangeboden, gevolgd door internationaal opgezette, wetenschappelijk gefundeerde msc opleidingen, die aansluiten op de onderzoeksprofilering van de betreffende biologie-faculteiten (zie ook aanbeveling 1). Het huidige systeem van onderzoekscholen, waarin de PhD opleidingen worden verzorgd, dient ook te worden ingeschakeld bij de msc opleidingen, met name bij te ontwikkelen voortrajecten voor de onderzoekersopleiding.

9

### Constatering

De biologie speelt een steeds belangrijker rol als kern van de exacte academische opleidingen.

### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten, Kamer Biologie (vsnu)*: Het onderwijsaanbod tijdens de BSc fase van biologie-opleidingen dient door een verbreding met andere exacte disciplines zodanig te worden ingericht, dat aan de toenemende behoefte van onze samenleving aan breed inzetbare, exact opgeleide academici tegemoet wordt gekomen (zie ook paragraaf 2.6).

10

### Constatering

Landelijke coördinatie van het aanbod aan cursussen en stagemogelijkheden bij de diverse instellingen kan voor een optimaal gebruik van de aanwezige middelen zorgen en de studenten de nodige keuzemogelijkheden bieden.

### Aanbeveling

*Universiteiten, faculteiten, para-universitaire instituten, Kamer Biologie (vsnu)*: Voor een optimaal gebruik van de opleidingsmogelijkheden voor biologen in ons land, is het gewenst dat studenten zoveel mogelijk gebruik kunnen maken van een landelijk aanbod aan relevante cursussen en stagemogelijkheden. Daarbij dienen ook biologisch georiënteerde para-universitaire instituten een rol te spelen.

Er bestaan geen ecosystemen waar de mens geen invloed op heeft. Zelfs de meest maagdelijke gebieden op aarde, ook daar waar niet gejaagd of gevestigd wordt, ondervinden de invloeden van veranderingen in klimaat en atmosferische samenstelling. Een ecosysteem wordt gevormd door een dynamisch complex van plantaardige, dierlijke en microbiële gemeenschappen, die in samenhang met de abiotische omgevingsfactoren als een functionele eenheid functioneren. De levensduur en omvang van een ecosysteem zijn niet op voorhand vastgelegd en worden door het systeem zelf gedictieerd. De mens maakt op allerlei wijzen gebruik van ecosystemen. Uitgedrukt in toenemende mate van intensiteit, vindt dit plaats in de vorm van ecotoerisme, extensieve begrazing van steppen, bosbouw, intensieve veeteelt, akkerbouw en rijstcultuur. Voor dergelijke intensief door de mens gebruikte gebieden wordt wel de term 'agro-ecosystemen' gehanteerd.

Het beheer en gebruik van ecosystemen vereist een gedetailleerde kennis van de vele processen die daarbinnen een rol spelen. Veel fysische, chemische, fysiologische en ecologische processen werken op vergelijkbare wijze in diverse ecosystemen, maar gezien het grote aantal factoren dat afhankelijk van de omstandigheden een rol speelt, kan de uitwerking per ecosysteem sterk variëren. Zo is de opbouw van populaties van plaagorganismen in de bodem bijzonder schadelijk voor bepaalde akkerbouwgewassen, zoals de aardappel. Dergelijke plaagorganismen spelen dan ook een rol in de successie van natuurlijke ecosystemen en dragen bij tot het verdwijnen van pioniersoorten. Bij andere gewassen, zoals Engels raaigras en maïs, blijkt vruchtwisseling echter niet nodig te zijn, en deze gewassen lijken in dit opzicht dus meer op soorten uit climaxvegetaties.

Ook veel maatschappelijke problemen vragen om kennis en inzicht in het functioneren van ecosystemen. De nog steeds sterke toename van de wereldbevolking vraagt om voedsel van hoge kwaliteit, dat met zo weinig mogelijk milieubelasting en een minimum aan toegevoegde stoffen geproduceerd moet kunnen worden. Binnen de productie-ecologie worden de biologische regelmechanismen bestudeerd die het mogelijk maken om de efficiëntie van dergelijke processen te verhogen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen een drietal regulerende factoren: Groeidefiniërende factoren bepalen de potentie van gewassen om te groeien, gegeven het klimaat en aard van het gewas. Groeibeperkende factoren, zoals water en voedingsstoffen, kunnen er bij een tekort voor zorgen dat dit optimale niveau niet gehaald wordt, maar hun effecten kunnen door een goed landbouwbeheer verminderd worden. Groeikortende factoren tenslotte liggen in de sfeer van ziekten en plagen. Dit onderscheid is voor de landbouw uiterst nuttig, maar ook voor studies aan natuurlijke ecosystemen kan dit begrippenkader verhelderend werken. Zo kan de vraag gesteld worden of de groei van savannen beperkt wordt door een tekort aan water of – zoals in de praktijk veelal het geval is – door een tekort aan voedingsstoffen. Verrassend genoeg blijkt dit laatste ook te gelden voor de groei van boreale bossen in Noord-Zweden.

Met natuurbeheer wordt beoogd om de waarde van natuurlijke ecosystemen en hun soortendiversiteit zo goed mogelijk te behouden, en waar nodig te verbeteren. De samenhang tussen beheer, productie-intensiteit en soortenrijkdom is bij uitstek het studieterrein van de ecologie, maar de landbouw kan, gezien de toenemende behoefte om landschappen aantrekkelijker te maken, sterk profiteren van deze ecologische kennis.

*Prof. dr. ir. J. Goudriaan, Prof. dr. ir. R. Rabbinge, Wageningen Universiteit (rudy.rabbinge@pp.dpw.wag-ur.nl)*

## Geraadpleegde literatuur

- AWT (1999), *Vitaliteit en kritische massa. Strategie voor de natuur- en technische wetenschappen*, Den Haag.
- AWT (1999), *Ruimte voor vernieuwing. Ervaringen binnen de technische en natuurwetenschappen*. Achtergrondstudie 14, Den Haag.
- Biologische Raad/Decanenoverleg Biologie (1986), *Disciplineplan Biologie*, Amsterdam.
- Decanenoverleg Biologie (1998), *Leerstoelenoverzicht Biologie 1998*, Amsterdam.
- KNAW (1997), *Biologie: het leven centraal*. Eindrapport Verkenningcommissie Biologie, Amsterdam.
- KNAW en VSNU (1999), *Discipline report on (bio)medical and health sciences research in the Netherlands 1998*, Amsterdam/Utrecht.
- KNAW (1999), *Bio-exact. Mondiale trends en nationale positie in biochemie en biofysica*, Amsterdam.
- KNAW (1999), *Strategienota onderzoekzoekorganisatie KNAW*, Amsterdam.
- KNAW (2000), *Rijzende sterren. Om de kwaliteit van de onderzoekersopleiding*, Amsterdam.
- Ministerie van ocnw (1999), *Wie oogsten wil, moet zaaien. Wetenschapsbudget 2000*, Zoetermeer.
- Ministerie van ocnw (1999), *Ontwerp Hoger Onderwijs- en Onderzoekplan 2000*, Zoetermeer.
- NOWT (2001), *Wetenschaps- en Technologie-Indicatoren 2000*, ocnw, Den Haag.
- NWO (1999), *Inzet op vernieuwing, ruimte voor talent. Meerjarenplan NWO 2000-2004*, Den Haag.
- OCV (1995), *Chemie in perspectief. Een verkenning van vraag en aanbod in het chemisch onderzoek*. Rapport van de Verkenningcommissie Chemie, Amsterdam.
- VSNU (1994), *Netherlands biology in the nineties. Onderzoekbeoordeling Biologie*, Utrecht.
- VSNU (1997), *Onderwijsvisitatie Biologie*, Utrecht.
- VSNU (1999), *Agricultural sciences. Onderzoekbeoordeling*, Utrecht.
- VSNU (1999), *Veterinary and animal sciences. Onderzoekbeoordeling*, Utrecht.
- VSNU (1999), *Biology. Onderzoekbeoordeling Biologie*, Utrecht.
- Vucht Tijssen, B.E. van (2000), *Talent voor de Toekomst. Toekomst voor Talent. Plan voor aanpak van het Wetenschapspersoneelsbeleid*, Utrecht.



# Bijlagen

- I. Commissie Disciplineplan Biologie: terms of reference en samenstelling
- II. Profilering/onderzoeksprogramma's per instelling
  - II-A. De nationale onderzoeksthema's en lokale onderzoeksprogramma's in verband
- III. Overzicht van (participatie in) onderzoekscholen
- IV-A. Leerstoelenoverzicht Biologie – per instelling
- IV-B. Overzicht hoogleraren Biologie – alfabetisch
- V. Lijst van afkortingen





# I Commissie Disciplineplan Biologie (CDB): Terms of reference en samenstelling

## *Achtergrond*

In het eindrapport van de Verkenningcommissie Biologie (*Biologie: het leven centraal*, november 1997) wordt aanbevolen om een nieuw Disciplineplan Biologie op te stellen. Dit disciplineplan zou aanbevelingen moeten bevatten over het te voeren beleid ten aanzien van de biologie in de komende periode met speciale aandacht voor de profilering van de biologie in de diverse (universitaire) instellingen.

Belangrijke aanleidingen om een dergelijk plan op te stellen zijn:

- De veranderende positie van de biologie.  
In het eindrapport van de Verkenningcommissie Biologie wordt aangegeven dat de biologie een centrale positie inneemt als toeleverancier van kennis aan vele andere wetenschappelijke disciplines en andere afnemers. Om de afnemende gebieden ook in de toekomst te kunnen blijven voeden is het nodig om de kern van dit complex, de biologie, vitaal te houden en veilig te stellen.
- Veranderingen in het universitaire onderzoek en onderwijs.  
Sinds het verschijnen van het vorige Disciplineplan Biologie hebben er ingrijpende veranderingen plaatsgevonden (en zijn nog gaande) in de kennisinfrastructuur. Het gaat hierbij onder meer om de invoering van de tweefasestructuur en de versterking van de (ook multidisciplinaire) samenwerking binnen en tussen universiteiten. Dit heeft onder meer geleid tot de oprichting van onderzoekscholen en de ontwikkeling van strategische allianties, zowel binnen als tussen universiteiten als met partijen (instituten, bedrijven et cetera) buiten de universiteiten.

Deze omstandigheden vragen een visie op gewenste toekomstige ontwikkelingen en de garantstelling van essentiële onderdelen van de discipline biologie nationaal en regionaal, zowel op het terrein van ('undergraduate' en 'graduate') onderwijs als onderzoek.

Zo'n visie zou toekomstgericht van karakter moeten zijn en moeten aangeven wat wenselijk en mogelijk wordt geacht, zowel vanuit een wetenschappelijke als een maatschappelijke invalshoek. Daarbij moet de mogelijkheid van differentiatie en accentverschillen met name in de graduate en postgraduate fase worden bekeken.

De belangrijkste doelgroep van een dergelijk rapport vormen de beleidsmakers op diverse niveaus (faculteiten, colleges van bestuur, instituuets-/onderzoek-schooldirecties en -besturen) bij de instellingen.

## *Verdere elementen van de opdracht aan de commissie*

In het Disciplineplan Biologie dient naast de hoofdpunten zoals hierboven aangeduid aandacht te worden besteed aan de volgende punten:

- Afbakening van de biologie en relaties met aangrenzende disciplines.
- Er zal worden voortgebouwd op de analyses en aanbevelingen van de Verkenningcommissie Biologie. Ook zal gebruik worden gemaakt van de rapportages van recente visitatiecommissies op het terrein van de biologie en waar nodig van aangrenzende gebieden.
- Bij de beschouwingen dienen ook de activiteiten op het terrein van de biologie van andere partijen dan de universiteiten te worden betrokken. Hierbij kan worden gedacht aan para-universitaire instituten en wellicht aan RIVM, DLO- en TNO-instituten.
- Bij de beschouwingen over de opleidingen is het goed om onderscheid te maken tussen undergraduate en graduate/postgraduate opleidingen en de expertise die daarvoor nodig is.
- Er dient de nodige aandacht te worden besteed aan onderzoekscholen, aangezien deze als belangrijke kernen worden gezien, niet alleen voor de 2e fase-opleidingen, maar ook voor het (para-) universitaire onderzoek.
- Aangezien leerstoelen (leerstoelgroepen) in de universitaire structuur de belangrijkste dragende elementen vormen, is het gewenst dat er een nationaal leerstoelenplan wordt ontwikkeld. Een dergelijk leerstoelenplan kan als kern van het disciplineplan worden beschouwd.

### *Samenstelling van de commissie*

Er is voor gekozen om een commissie van beperkte omvang te belasten met de taak om een Disciplineplan Biologie op te stellen. Bij de samenstelling is er voor gezorgd dat de diverse deelgebieden van de biologie redelijk zijn gerepresenteerd in de commissie en dat de leden van de commissie uit diverse instellingen afkomstig zijn. Tevens zijn relaties met de zeven opleidingen biologie/ Decanenoverleg Biologie, NWO, KNAW, buiten-universitaire partijen (waaronder para-universitaire instituten) en de voormalige Verkenningcommissie Biologie in de beschouwingen betrokken.

Uitgaande van het bovenstaande is de commissie als volgt samengesteld:

prof. dr. W.P.M. Hoekstra  
 prof. dr. J.M. Koolhaas  
 prof. dr. F.H. Lopes da Silva  
 prof. dr. E. van der Meijden  
 prof. dr. J.N.M. Mol  
 prof. dr. W. Olijve  
 prof. dr.ir. R. Rabbinge  
 prof. dr. M.J.A. Werger  
 prof. dr. E.J.J. van Zoelen – voorzitter

Secretaris: drs. J. Kuiper

Biologische Raad & Decanenoverleg Biologie  
 september 1999

## Profilering/onderzoeksprogramma's per instelling

In deze bijlage wordt het profiel, i.c. de onderzoeksprogramma's, per instelling beschreven.

Per onderzoeksprogramma wordt aangegeven welke (veelal voltijds) hoogleraren (gecursiveerd aangegeven) met hun werkgroepen hierbij actief zijn, alsmede in welke instuut het onderzoek is ondergebracht en in welke onderzoekscholen.

Waar er sprake is van reeds benoemde zogenoemde Van der Leeuw hoogleraren in een situatie waarbij ook de hoogleraar nog aanwezig is die ze opvolgen, zijn deze hoogleraren als duo's aangegeven (de 'oude' hoogleraar voorop, gescheiden door een / van hun opvolger, de Van der Leeuw hoogleraar).

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

De Levende Cel: Organisatie en Regulatie van Cellulaire Functies

*(Cornelissen, van den Ende, Grivell, Haring, Nanninga, vacature Bio-informatica)*

Instituut: Swammerdam Institute for Life Sciences (SILS)

Dit onderzoek richt zich op de dynamische architectuur van de cel in relatie tot processen als signaaloverdracht en communicatie tussen cellen. Het onderzoek is moleculair celbiologisch van aard en concentreert zich met name op planten en micro-organismen. De dynamische eigenschappen van macromoleculaire componenten in de cel worden bestudeerd, waarbij processen als regulatie van genexpressie gerelateerd worden aan zowel de ruimtelijke organisatie van het genoom als aan het ontstaan van organellen. Op hogere organisatieniveaus wordt onderzoek verricht aan moleculaire aspecten van plant-pathogeen interacties, alsmede aan een moleculair biologische benadering van signaaloverdracht in neurale systemen. De profilering van het onderzoeksprogramma uit zich door een sterke nadruk op de ontwikkeling en het gebruik van optische technieken voor de bestudering van de dynamische architectuur van de cel. Het veelvuldig gebruik van gisten en schimmels als modelsystemen draagt bij tot de focussering van het onderzoeksprogramma, waarbij de interactie tussen schimmels en planten een verbindende schakel vormt naar de ontwikkelingsfysiologie van planten.

Het instituut participeert in de onderzoeksschool BioCentrum Amsterdam, waarbij nauwe interacties bestaan met chemische, fysische en mathematische groepen binnen de UVA, met verwante groepen binnen de VU, het Academisch Medisch Centrum Amsterdam, het FOM instituut voor Atomaire en Moleculaire Fysica, het Nederlands Kanker Instituut en het Centraal Laboratorium voor de Bloedtransfusiedienst, alle te Amsterdam.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

De Levende Cel: Neurobiologie, van Cel tot Neuronale Netwerken

*(Joëls, Lopes da Silva, Wadman)*

Instituut: Swammerdam Institute for Life Sciences (SILS)

Onderzoek binnen dit onderzoeksprogramma focuseert zich op de functionele organisatie van neurale netwerken in de hersenen van zoogdieren. Centraal staat daarbij het onderzoek naar de mechanismen van de plasticiteit van de hersenen, hetgeen de basis vormt voor processen als leren, geheugen en adaptieve responsen door stress-stimuli. Neurale functies worden bestudeerd van het (ultra-) microscopische niveau van de individuele celmembranen tot het niveau van totale netwerken met hun complexe patronen van synaptische communicatie, met nadruk op plastische veranderingen in de hersenen en de dynamische balans van neurale netwerken. Speciale aandacht bestaat voor de mechanismen die ten grondslag liggen aan verstoring van deze balans onder

pathologische condities, bijvoorbeeld bij het ontstaan van epilepsie en gedurende stress-responsen.

Het onderzoek participeert in de Amsterdamse onderzoeksschool Neurowetenschappen, waarbij op lokaal niveau wordt samengewerkt met relevante groepen van de VU, het Academisch Medisch Centrum Amsterdam, het Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek, het Interuniversitair Oogheelkundig Instituut, het Nederlands Kanker Instituut en het Centraal Laboratorium voor de Bloedtransfusiedienst.

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 3

##### Biodiversiteit, Evolutie en Ecosysteemdynamica

*(Admiraal, Hooghiemstra, Menken, Sabelis, Schram, vacature Experimentele plantensystematiek)*

Instituut: Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica (IBED)

Dit onderzoek richt zich op de biologische diversiteit en stabiliteit van ecosystemen en de betekenis daarvan voor stofstromen in het milieu. Centraal staat hierbij de vraag hoe soorten met hun onderlinge interacties en netwerken ontstaan, voortbestaan en verdwijnen. Daarnaast wordt onderzocht hoe de biotische samenstelling van ecosystemen en de stofstromen in het milieu elkaar beïnvloeden. Om inzicht te krijgen in de wisselwerking tussen natuurlijke selectie, populatiedynamische processen en abiotische processen, wordt onderzoek verricht op het gebied van de systematiek, de populatiegenetica, de populatiedynamica, de paleo-ecologie, de fysische geografie en de milieubiologie. Mathematische modellen worden ontwikkeld om inzicht te krijgen in de onderliggende processen en om toetsing van experimentele waarnemingen mogelijk te maken. In het verlengde van dit fundamentele onderzoek wordt toegepast onderzoek verricht op het gebied van 'global change', landschapsbeheer, natuurbehoud, visserij en wildbeheer, waterbeheer, epidemiologie van parasieten en pathogenen met een medisch, veterinair of agrarisch belang, analyse van risico's op invasie van exotische en genetisch gemodificeerde organismen en biologische bestrijding van plagen.

Het IBED participeert in de onderzoeksscholen Biodiversiteit, Milieuwetenschappen (SENSE), Functionele Ecologie en het Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch onderzoek. Op lokaal niveau wordt verder samengewerkt met de afdelingen Wiskunde en Computational Sciences van de UVA.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

(Dys-)Functioneren van Neuronale Netwerken

*(Brussaard, Gahr, Geraerts, Verhage)*

Instituut: Instituut voor Neurowetenschappen

Dit onderzoek richt zich op fundamenteel biologische aspecten van ontwikkelingsprocessen en signaaloverdracht in het zenuwstelsel. Gestructureerd in de vorm van een facultair instituut wordt onderzoek verricht aan (A) de moleculaire en morfologische aspecten van de ontwikkeling en plasticiteit van het zenuwstelsel (synapsen) bij onder andere groei en adaptatie; (B) de fysiologische rol van de membraan bij adaptatieprocessen en prikkel-overdracht van chemische signalen; en (C) de ontwikkeling van het zenuwstelsel bij aangeleerd gedrag. De resultaten van het fundamentele onderzoek worden praktisch toegepast op vraagstukken met medisch biologische (preklinische) en klinische relevantie, waaronder verslaving.

Het onderzoek binnen dit instituut maakt deel uit van het interfacultaire Instituut voor Neurowetenschappen van de VU, dat weer participeert in de onderzoeksschool Neurowetenschappen Amsterdam. Samenwerking bestaat met andere onderzoeksgroepen binnen deze onderzoeksschool, met name van de UVA en het Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Adaptatie-processen in Ecosystemen

*(Aerts, Ernst/Bartels, Kooijman, van Straalen)*

Instituut: Instituut voor Ecologische Wetenschappen (IEW)

Binnen dit onderzoeksprogramma worden de interacties tussen organismen binnen ecosystemen bestudeerd, met nadruk op de manier waarop planten en dieren zich aan hun abiotisch milieu hebben weten aan te passen. De rol van biodiversiteit in ecosystemen wordt bestudeerd op het niveau van genetische variatie en soortenrijkdom. Er is speciale aandacht voor verontreinigde ecosystemen, de evolutionaire responsen als gevolg van dergelijke verontreinigingen, en de mate waarin menselijk ingrijpen de stabiliteit van ecosystemen in gevaar brengt. Verder wordt op moleculair niveau gekeken naar de signaaloverdracht in plantencellen bij adaptatie aan veranderende omgevingsfactoren.

Het IEW is ingebed in de onderzoeksschool Milieuwetenschappen (SENSE), waarbij hechte samenwerkingsverbanden bestaan met het Instituut voor Milieuvraagstukken van de VU en met groepen vanuit de UVA en de WU.



Moleculaire Dynamiek van de Levende Cel*(Kraayenhof/Lill, Mol, Nijkamp, Oudega, Westerhoff)*

Instituut: Instituut voor Moleculair Biologische Wetenschappen (IMBW)

Het onderzoek richt zich op de moleculair biologische, biochemische en biofysische principes die ten grondslag liggen aan de structuur, de functie en het dynamische gedrag van macromoleculen, en hun complexen in de levende cel. Het onderzoek concentreert zich hierbij op de volgende onderzoekslijnen: (A) Dynamiek van metabole netwerken en genexpressie. Dit onderzoek richt zich op de regulatie van de expressie van genen in relatie tot groei en ontwikkeling van cellen en weefsels, met speciale aandacht voor de tijd en plaats gebonden controle van genexpressie en voor mogelijkheden tot het onderdrukken van de expressie van genen en genclusters ('gene silencing'); (B) Dynamiek van eiwit-systemen. Dit onderzoek richt zich op de synthese en het transport van membraaneiwitten en van eiwitten die zelf betrokken zijn bij transportprocessen. Er is speciale aandacht voor de dynamiek van structuurveranderingen van grote membraaneiwit-complexen die functioneren in energie- en signaaltransductie of betrokken zijn bij transport-processen; (C) Dynamiek van celfuncties. Hierbij vindt onderzoek plaats naar het integrale functioneren van genen en genproducten in hun natuurlijke omgeving en tijdens adaptatieprocessen. Hierbij worden fundamentele, fysiologische processen in de levende cel geanalyseerd, gemodificeerd en gemodelleerd. Het onderzoek wordt voornamelijk uitgevoerd aan micro-organismen, planten en tumorcellen. Het instituut vormt een integraal onderdeel van het interfacultaire Instituut voor Moleculair Biologische Wetenschappen, dat samen met delen van het Swammerdam Institute for Life Sciences (UVA) het BioCentrum Amsterdam vormt. Daarnaast wordt binnen Amsterdam nauw samengewerkt met groepen van het Nederlands Kanker Instituut, het Centrum voor Wiskunde en Informatica en het Academisch Ziekenhuis van de VU. Het plant-genetisch onderzoek vindt plaats in samenwerking met ATO-DLO en Plant Research International, beide te Wageningen.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

Evolutionaire Ecologie en Voedselweb-analyse

(*Van Andel, De Baar, Van Delden, Drent, Elzenga, Wolff, vacature Microbiële ecologie*)

Instituut: Centrum voor Ecologische en Evolutionaire Wetenschappen (CEES)

Het onderzoek is gericht op de ontwikkeling van de biodiversiteit in relatie tot de evolutionaire ‘fitness’ van individuen in complexe populaties. Het onderzoek vindt plaats aan de hand van zowel laboratoriumstudies als lange-termijn veldstudies met experimentele ingrepen. Een moleculair ecologische benadering wordt toegepast om de genetische samenstelling van populaties vast te stellen. Specifieke accenten liggen hierbij op het terrein van de Mariene Biologie en de ‘Conservation Biology’.

CEES maakt deel uit van de onderzoeksschool Functionele Ecologie. Er zijn nauwe samenwerkingsprojecten met andere biologische groepen van de RUG. Daarnaast is er een samenwerking met het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (Texel) en het Rijksinstituut voor Kust en Zee (vestiging Haren) op het gebied van marien biologisch en ecologisch onderzoek aan de Waddenzee.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Gedrag en Zenuwstelsel

(*Daan, Koolhaas, Luiten, vacature Dierkunde*)

Instituut: Center for Behaviour and Neurosciences (CBN)

Het onderzoek richt zich op de fundamentele principes die ten grondslag liggen aan het gedrag van mens en dier in relatie tot het functioneren van de hersenen. Nadruk ligt daarbij op: (A) de fundamentele en evolutionaire organisatie van het gedrag (ethologie); (B) de organisatie van tijdsafhankelijk gedrag, onder andere in relatie tot slapen en waken (chronobiologie); (C) de fysiologie van het intacte dier en de sturende rol van hersenprocessen in het gedrag (gedragsfysiologie); (D) de relaties tussen het zenuwstelsel en hormonale processen (neuro-endocrinologie); en (E) de plasticiteit van neuronale verbindingen op cellulair en moleculair niveau (moleculaire neurobiologie). Naast fundamentele aspecten van cognitie, waarneming, slaap, stofwisseling, signaaltransductie en de biologische klok, worden ook socio-medische aspecten van het gedrag bestudeerd, bijvoorbeeld in relatie tot veroudering, agressie, en depressie. Nauwe samenwerking bestaat met niet-biologische groepen binnen het instituut op het terrein van moleculaire farmacologie, neurobiofysica en biomedische technologie. Het CBN maakt deel uit van de interfacultaire onderzoeksschool Gedrag en Cognitieve Neurowetenschappen.

Functional Genomics van Prokaryote en Eukaryote Cellen

(Dijkhuizen, Hille, Konings/Driessen, Kruijer, Kuipers)

Instituut: Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology Institute (GBB)

Het onderzoek richt zich op de functionele genom-analyse van prokaryote en eukaryote cellen en op bestudering van de structuur-functie relatie van de betrokken eiwitten. Op deze wijze wordt beoogd inzicht te krijgen in: (A) stofwisselingsprocessen in micro-organismen; (B) de mechanismen van transport van stoffen over de celmembraan van micro-organismen; (C) transport- en translocatieprocessen in micro-organismen; (D) de relatie tussen celorganel-substructuur en fysiologische functies in eukaryote micro-organismen; (E) de ontrafeling van signaaltransductie-systemen betrokken bij complexe reguleringssystemen in bacteriën; (F) de werking van groeifactoren, cytokines en hormonen in relatie tot groei, differentiatie en ontwikkeling van cellen en organismen; en (G) de mechanismen van geprogrammeerde celdood in hogere planten, met name *Arabidopsis* en de tomaat.

Nauwe samenwerking bestaat binnen de onderzoekschool GBB met een zestal chemische groepen, met name in relatie tot protein engineering en structuur-functie onderzoek aan (medisch relevante) eiwitten en op het terrein van computationele chemie en moleculaire dynamica van biomoleculen.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

Evolutiebiologie en Soort-interacties

(*van Alphen, Brakefield, ten Cate, Gittenberger, van der Meijden, Metz, Zweers/Richardson*)

Instituut: Instituut voor Evolutionaire en Ecologische Wetenschappen (EEW)

Het onderzoek richt zich op het ontrafelen van evolutionaire processen, met name op de mechanismen die veranderingen in levensvormen teweeg brengen. Speciale aandacht bestaat voor multidisciplinaire en modelmatige benaderingen die het mogelijk maken de evolutietheorie te toetsen, bij te stellen en uit te werken voor specifieke situaties. Het onderzoek vindt plaats binnen drie interactieve gebieden: (A) De 'arena' van evolutie, met aspecten zoals adaptatie, populatiedynamica, interacties tussen soorten, natuurlijke selectie, evolutionair stabiele strategieën, aanpassingsdynamieken en biodiversiteit; (B) De mogelijkheden en beperkingen voor evolutionaire veranderingen die voortkomen uit de biochemie, de moleculaire genetica, de ontwikkelingsbiologie, de morfologie, de gedragsbiologie en de neurobiologie van organismen; (C) De patronen en processen van soortvorming, inclusief reproductieve isolatie, en de ontwikkeling van methoden voor de analyse van fylogenetische relaties. Het instituut maakt deel uit van de landelijke onderzoekscholen Functionele Ecologie en Biodiversiteit. Tevens is er een onderwijskundige samenwerking met het Instituut voor Moleculaire Plantkunde en het Centrum voor Milieukunde van de UL, het Nationaal Herbarium en NNM-Naturalis. Met deze laatste twee instellingen bestaat een formeel samenwerkingsverband.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Moleculaire Signaalmechanismen bij Plant-Microbe Interacties

(*Bol, Hooykaas, Kijne, Lugtenberg, Spaik*)

Instituut: Instituut voor Moleculaire Plantkunde (IMP)

Het onderzoek richt zich op het bestuderen van de moleculaire aspecten van plant-microbe interacties, met nadruk op de rol van de betrokken signaal-moleculen en signaaltransductie-paden. Hierbij concentreert men zich op modelorganismen waarvan de genomische DNA volgorde bekend is. Voor het functioneel onderzoek van de genproducten wordt intensief gebruik gemaakt van autofluorescerende eiwitten. Het onderzoek, dat zich afspeelt op het raakvlak tussen de biologie, de fysica en de chemie, is onderverdeeld in een vijftal secties: moleculaire biologie, genetica, biochemie, microbiologie en fysiologie.

Een groot deel van het instituut maakt deel uit van de onderzoeksschool Experimentele Plantenwetenschappen. Op lokaal niveau wordt binnen de faculteit Wis- en Natuurkunde van de UL intensief samengewerkt met de farmacie, de chemie, de fysica en de wiskunde. Op het gebied van de gist-genetica bestaat er nauwe samenwerking met de TU Delft, binnen het kader van de onderzoek-

school Biotechnologie Delft-Leiden (BSDL). In het UL-TNO Centrum voor Fytotechnologie wordt samengewerkt met TNO op de thema's stress-fysiologie, wortel-fysiologie en rhizosfeerbiologie.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 3

Botanische Biodiversiteit

(Baas)

Instituut: Nationaal Herbarium Nederland (Leidse vestiging)

Het onderzoek richt zich op het verkrijgen van kennis en inzicht in de verschillende aspecten van botanische biodiversiteit zoals ontstaan, omvang en behoud. Belangrijke doelstellingen zijn inventarisatie en classificatie. Hieronder vallen de volgende activiteiten: (A) het opsporen en beschrijven van taxonomische diversiteit van planten en paddestoelen, met name in Zuidoost-Azië, Nederland, aangrenzend Noordwest-Europa en de Atlantische Oceaan; (B) fylogenie en biogeografie; (C) biodiversiteitsonderzoek en –waardering op basis van floristische en collectiegegevens; en (D) het beheren en ontsluiten van databestanden van collectie-gebonden gegevens en floristische diversiteit. Het instituut maakt deel uit van de onderzoeksschool Biodiversiteit. Er bestaat nauwe interactie met het overig biologisch onderzoek van de UL en het NNM-Naturalis. Het Nationaal Herbarium Nederland vormt één instituut met drie lokale vestigingen (Leiden, Utrecht en Wageningen), elk met een eigen regionale en thematische inkleuring, aansluitend bij de diverse collectie-zwaartepunten.

Centraal instituut: Nijmeegs Instituut voor Biocommunicatie (NIBICO)  
Centraal thema: Biocommunicatie bij adaptieve processen

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

Adaptatie en Functioneren van Organismen in Zoetwater-ecosystemen  
(van Groenendaal, Jetten, de Kroon, Wendelaar Bonga, van der Zwaan)  
Instituut: Nijmeegs Instituut voor Microbiologie, Ecologie en Plantkunde  
(NIMEP)

Het onderzoek concentreert zich op het functioneren van planten, dieren en micro-organismen in zoetwater-systemen, met name in en om onze grote rivieren. Rivieren en hun stroomgebieden vormen een essentiële schakel in de waterkringloop, waarvan uiteindelijk al het leven afhankelijk is. Kwantiteit en kwaliteit van het zoete water worden bepaald door geochemische en biologische processen, en in steeds toenemende mate door menselijk handelen via klimaats- en omgevingsveranderingen en het introduceren van niet natuurlijk voorkomende stoffen (xenobiotica). Een verantwoord gebruik en beheer van deze schaarse hulpbron vereist een geïntegreerde bestudering van systeem-ecologische stofkringlopen, inzicht in de veranderingen in aantal en distributie van de participerende organismen, en kennis van het adaptief vermogen van deze organismen in een veranderend milieu.

Het onderzoek participeert in de onderzoekscholen Functionele Ecologie en Cellular Signalling. Het NIMEP vormt met zijn samenwerkingspartners, te weten de ecologische afdelingen van de WU en het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek (vestiging Nieuwersluis), een voor Nederland unieke concentratie van biologische, biogeochemische en milieukundige kennis op het gebied van de zoetwater-ecologie.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Plant-ontwikkeling en Reproductie van de Plant  
(Mariani, Wullems, vacature Plantengenetica)  
Instituut: Nijmeegs Instituut voor Microbiologie, Ecologie en Plantkunde  
(NIMEP)

Het onderzoek richt zich op de ontwikkeling van planten, in het bijzonder van de voortplantingsorganen, en op de signaleringsmechanismen die nodig zijn voor bevruchting en zaadproductie. De differentiatie en specifieke functies van het orgaanweefsel, in het bijzonder de communicatie tussen de pollenkorrels en het weefsel van de stamper, worden op cellulair en moleculair niveau bestudeerd. Tevens wordt fysiologisch onderzoek verricht naar de rol van, en de cellulaire respons op planthormonen en andere factoren zoals calcium, lipiden en flavonolen. Het onderzoek van de nieuwe afdeling Plantengenetica zal zich eveneens richten op ontwikkeling en signaleringsmechanismen in planten. Dit onderzoek participeert in de onderzoekschool Experimentele Plantenwetenschappen en sluit inhoudelijk nauw aan bij de Nijmeegse expertisen op het gebied van adaptatiebiologie en cellulaire signaalmechanismen.

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 3

##### Neurale en Neuro-endocriene Adaptatiefysiologie (Martens, Roubos, vacature Organismale dierfysiologie)

Binnen dit onderzoek wordt het functioneren van neuronale en neuro-endocriene regelsystemen op organismaal, cellulair en moleculair niveau bestudeerd. Meer in het bijzonder wordt moleculair en celbiologisch onderzoek verricht aan de localisatie en dynamica van regulatiecentra in de hersenen en de interacties van deze centra met de hypofyse en perifere organen. Bij dit onderzoek wordt met name gebruik gemaakt van de melanotrope cel van de hypofyse van de klauwpad *Xenopus laevis*. Het onderzoek is sterk complementair met het overig biologisch onderzoek binnen de faculteit, met name het organismaal dierkundig onderzoek binnen de zoetwaterbiologie en het moleculair cellulair onderzoek aan genomische responsen.

Het onderzoek is ingebed in het Nijmeegs Instituut voor Neurowetenschappen (onderzoekschool NICI), het Nijmeegs Brain Imaging Centrum en de Nijmeegse onderzoekschool Cellular Signalling.

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 4

##### Genomische Responsen op Extracellulaire Signalen (Olijve, Stunnenberg, van Zoelen)

Het onderzoek richt zich op de wijze waarop de informatie van extracellulaire signaalmoleculen op cellulair niveau vertaald wordt in intracellulaire boodschapper-moleculen en veranderde genexpressie. Nadruk ligt op het werkingsmechanisme en de structuur-functie relatie van polypeptide groeifactoren, die via activering van een plasmamembraan-receptor hun groeiregulerende werking uitoefenen, en op die van nucleaire hormonen, waarvan de receptor als ligand-geactiveerde transcriptiefactor werkzaam is. Het onderzoek vindt primair plaats aan zoogdiercellen in weefselkweek. Specifieke aandacht bestaat voor toepassingen bij diverse ziektebeelden zoals kanker, osteoporose en genetische aandoeningen.

Het onderzoek participeert binnen de Nijmeegse onderzoekschool Cellular Signalling, in nauwe samenwerking met de facultaire groepen die werken aan neurale adaptatiefysiologie. Daarnaast bestaat er directe interactie met diverse chemie-afdelingen binnen de faculteit, met name met de Biofysische Chemie en de Bio-informatica (CMBI).



ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

Moleculaire Ontwikkelingsbiologie

(Goos, Zeller)

Onderzoek binnen dit onderzoeksprogramma richt zich op de vroege en late ontwikkeling van multicellulaire organismen (muizen, vissen, planten). Het onderzoek aan dierlijke systemen concentreert zich met name op de signaalprocessen die sturend zijn voor de embryonale ontwikkeling. Het onderzoek aan planten (*Arabidopsis*) richt zich vooral op de moleculair genetische aspecten van de wortelvorming. De nauwe interactie tussen het onderzoek aan planten en dieren plaatst het Utrechts ontwikkelingsbiologisch onderzoek binnen een breed perspectief.

Het draagvlak binnen dit onderzoeksprogramma wordt verder versterkt door de intensieve samenwerking met het nabij gelegen Nederlands Instituut voor Ontwikkelingsbiologie (Hubrecht Laboratorium) en de participatie in de interfacultaire Utrechtse onderzoeksschool Ontwikkelingsbiologie.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Stress-signalling en Adaptatie bij Planten

(Kollöffel, van Loon, Smeekens, Visscher/Lotter, Voesenek, Werger)

Binnen dit onderzoeksprogramma bestudeert men de responsen van planten op veranderingen in hun leefomgeving en de gevolgen daarvan voor het functioneren van de plant, als individu, in populaties en in ecosystemen. Dit onderzoek, dat plaatsvindt binnen een combinatie van botanische specialisatierichtingen, omvat een nagenoeg complete bestudering van plant-omgeving interacties, met nadruk op: (A) de signaaltransductie-paden bij perceptie en stress-adaptatie; (B) de strategie van planten tijdens adaptatieprocessen en de consequenties daarvan voor groei-snelheid, concurrentievermogen, het samenleven van verschillende soorten en de samenstelling van het ecosysteem; (C) de populatiedynamische implicaties van plant-omgeving interacties; en (D) de evolutionaire en historische bestudering van soorten en soortverschillen in relatie tot veranderingen in omgevingsfactoren.

Het onderzoek participeert voor het grootste deel in de onderzoekscholen Experimentele Plantenwetenschappen, Functionele Ecologie en Biodiversiteit, en voor een beperkt gedeelte in Sedimentaire Geologie. De activiteiten binnen de plantensystematiek zijn gebundeld in het Nationaal Herbarium Nederland. Er zijn nauwe samenwerkingen met het Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek (vestiging Heteren) en de faculteit Aardwetenschappen van de uu.

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 3

##### Structurele en Functionele Biologie

*(Hoekstra/Wösten, Hogeweg, van der Horst, Seinen, Verkleij, Weisbeek)*

Dit onderzoek concentreert zich op het verband tussen de structuur en het functioneren van cellen, met name in relatie tot de regulatie van cellulaire processen en hun evolutie. Accenten liggen daarbij op de vorming van de celstructuur, de effecten van toxische stoffen op de cel en de structuur-functie relatie van moleculen die betrokken zijn bij het functioneren van de cel, bij processen als de regulatie van genexpressie, cellulaire transportprocessen en signaaltransductie-paden. Toepassingsgericht onderzoek vindt plaats om de kennis op het terrein van de fysiologie van de cel te gebruiken voor het optimaliseren van de productie van eiwitten. Daarnaast vindt ook modelmatige analyse van cellulaire en moleculaire processen plaats via bio-informatische patroonanalyse, in directe samenwerking met de andere onderzoeksprogramma's van de UU.

Het onderzoek is voor een groot deel ingepast in de onderzoekschool Biomembranen, waarbij op lokaal niveau nauwe samenwerking bestaat met chemische, fysische en biomedische groepen die eveneens werkzaam zijn op dit terrein. Het onderzoek naar risico-analyses van toxische stoffen op de cel vormt een onderdeel van het interfacultaire Onderzoeksinstituut voor Toxicologie (RITOX).

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 4

##### Gedragsbiologie en Neurobiologie

*(van de Grind, van Hooff)*

Dit onderzoek richt zich op bestudering van het gedrag van dieren in hun sociaal verband, met accenten op de evolutie en ontwikkeling van het gedrag van met name sociale insecten en primaten. Complementair hieraan vindt neurobiologisch onderzoek plaats naar zintuiglijke waarnemingen en de verwerking daarvan in de hersenen. Accent ligt hierbij op de informatieverwerking voor oriëntatie en ruimtelijk gedrag van dieren.

Het gedragsonderzoek vindt plaats in nauwe samenwerking met de wu en de faculteit Diergeneeskunde van de uu, dit laatste met name in relatie tot het gedrag van landbouwhuisdieren. Het gedragsonderzoek is ondergebracht in de landelijke onderzoekscholen Functionele Ecologie en Pathofysiologie van het Zenuwstelsel. Het neurobiologisch onderzoek slaat een brug naar het biofysisch en psychofysisch onderzoek aan de uu, zoals ondergebracht in het Helmholtz-instituut.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 1

Genetica en Ontwikkelingsbiologie van Planten

*(Bisseling, Jacobsen, Koornneef, Kropff, van der Plas, Schaafsma, Stam, van Went, vacature Biosystematiek)*

Onderzoek wordt verricht naar de (moleculaire) mechanismen die ten grondslag liggen aan de ontwikkeling van planten en naar het vermogen om te reageren op (veranderingen in) hun omgeving. Het ontwikkelingsbiologisch onderzoek richt zich hierbij onder meer op de mechanismen die de organisatie van de kern reguleren in relatie tot genexpressie, celdifferentiatie, celorganisatie, orgaanvorming en de overdracht van genetische informatie via sexuele en niet-sexuele weg. Bij de adaptatiemechanismen ligt het accent op unieke plantaardige eigenschappen, zoals het aangaan van symbiose om tekorten aan voedingsstoffen op te heffen, het ontwikkelen van mechanismen in zaden en andere overlevingsorganen om tot kiemrust over te gaan, alsmede het vermogen van organen en embryo's om hun differentiatiestadium aan te passen. De fundamentele kennis die aldus gegenereerd wordt, heeft een sterke uitstraling op de meer toepassingsgerichte disciplines zoals de plantenveredeling en de plantenteelt.

Het onderzoek is voor het overgrote deel ondergebracht in de onderzoekschool Experimentele Plantenwetenschappen. Het is in toenemende mate multidisciplinair van karakter, waardoor optimaal geprofiteerd wordt van de brede infrastructuur op plantengebied, mede door de aanwezigheid van het DLO deel van het WUR. De toenemende nadruk op een beperkt aantal modelsystemen (*Arabidopsis*, *Medicago*, tomaat, aardappel) is een andere integratie-bevorderende factor.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 2

Adaptief Vermogen bij Dieren

*(Brascamp, van der Heide, Kemp, van Leeuwen, van Muiswinkel/Savelkoul, Spruijt, Verreth)*

Het adaptief vermogen van diersoorten en individuele dieren wordt onderzocht in relatie tot de genetische en fysiologische basis waarop hun verschillend vermogen tot aanpassing berust. Daarbij worden de gevolgen van dergelijke verschillen in eigenschappen bestudeerd in relatie tot het gedrag van dieren onder verschillende leefomstandigheden en het vermogen om hun leefgebied uit te breiden. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar landbouwhuisdieren en vissen, waarbij ook de toepassingsaspecten op het terrein van voeding, gezondheid en (voorkoming van) stress een belangrijke rol spelen. Het onderzoek is opgebouwd uit de volgende complementaire lijnen: (A) vergelijkend immunologisch onderzoek aan warm- en koudbloedige organismen, onder andere gericht op regulatie van de immuunrespons, ziekteresistentie en vaccinatie; (B) adaptatie van groei en morfogenese onder invloed van biomechanische facto-

ren, nutriënten-aanvoer en groeifactoren, onder meer gericht op aanpassing van spieren in verband met de voortbeweging; (c) fysiologische regulatie van adaptief vermogen in relatie tot metabole en voortplantings-functies; (d) gedragsanalyse van de reactie van dieren op veranderingen van hun omgeving, teneinde de grenzen van het adaptatief vermogen te bestuderen; en (e) het adaptief vermogen van vis(soorten) en garnalen onder invloed van abiotische en biotische omgevingsfactoren, inclusief waterkwaliteit en voeding, op processen als soortvorming, geslachtdifferentiatie, gezondheid en groei. Het onderzoek is grotendeels ondergebracht in de Wageningse onderzoeksschool voor dierstudies (WIAS) en wordt uitgevoerd in samenwerking met ID-DLO en de faculteit Diergeneeskunde van de UU.

#### ONDERZOEKSPROGRAMMA 3

##### Ecologie van Natuurlijke en Agro-ecosystemen

*(Berendse, Brussaard, Hoekstra, Kropff, Prins, Rabbinge, Scheffer)*

Dit onderzoeksprogramma richt zich op fundamenteel onderzoek aan de processen die de samenstelling en de dynamiek van zowel terrestrische als aquatische ecosystemen reguleren, gecombineerd en geïntegreerd met de toepassing van deze kennis in het natuurbeheer en de ontwikkeling van duurzame en multifunctionele landgebruikssystemen. Bijzondere aandacht wordt besteed aan (A) de effecten van milieufactoren op ecosystemprocessen, waaronder mineralisatie van stikstof uit organisch materiaal, waterhuishouding, groei van gewassen en vegetaties, inclusief de consequenties voor plant-plant en plant-herbivoor-interacties, etc. Experimenteel onderzoek naar de onderliggende fundamentele mechanismen wordt gecombineerd met modelmatige analyses. Daarnaast wordt de genetische basis van adaptatie en stabiliteit op populatieniveau onderzocht, in relatie tot de gevolgen voor biodiversiteit; (B) het gebruik van de resultaten van deze fundamentele analyses in het natuurbeheeronderzoek, om randvoorwaarden aan te kunnen geven ten aanzien van milieukwaliteit en ruimte voor verschillende 'soorten natuur', gebaseerd op het inzicht in lange-termijn effecten van veranderingen in milieu-omstandigheden; en (C) de analyse van de interacties tussen natuurlijke en agro-ecosystemen, onder meer gericht op de mogelijkheden van duurzaam landgebruik, waarbij modellen worden ontwikkeld om verschillende toekomst-scenario's te verkennen.

Het onderzoek participeert voor het overgrote deel in de onderzoeksschool Production Ecology and Resource Conservation en voor een klein gedeelte in het Wageningen Instituut voor Milieu- en Klimaatonderzoek. Voor de verkennende en ontwerpende onderdelen bestaat er samenwerking met de afdeling Aardwetenschappen en de gamma-disciplines van de WU.

Interacties tussen Planten, Plantenbelagers en hun Vijanden  
(*Bakker, Goldbach, van Lenteren, de Wit*)

Het onderzoek richt zich op bestudering van de uitwisseling en verwerking van signalen tussen planten en belagers, waaronder virussen, bacteriën, schimmels, nematoden en insecten. Speciale aandacht bestaat voor de bestudering van infectieprocessen, vraatgedrag, en signaaltransductieprocessen die leiden tot vatbaarheid of resistentie, alsmede voor de rol van geprogrammeerde celdood en de vorming van specifieke metabolieten met diverse biologische activiteiten. Het onderzoek vindt plaats op verschillende integratieniveaus: (A) Op (sub)cellulair niveau staat een moleculaire analyse centraal van genen die pathogenen en herbivoren in staat stellen om een plant aan te tasten, met inbegrip van de bijbehorende signaal-transductieprocessen; (B) Op niveau van het individu wordt gewerkt aan fysiologie, genetica, soortherkenning via chemische signalen en gedragsecologie; (C) Op populatie-niveau worden soortinteracties en populatie-genetische processen bestudeerd vanuit een evolutionair-ecologische invalshoek. De gegevens uit genomische analyses vormen het beginpunt van een omvangrijke, functionele analyse van genen die betrokken zijn bij plant-pathogeen en plant-herbivoor-interacties; dit samenbrengen van moleculaire, biochemische, fysiologische, ecologische en evolutionaire benaderingen in functioneel genomische analyses zal uiteindelijk leiden tot een beter gefundeerd begrip van interacties tussen planten, hun concurrenten, hun belagers, en de natuurlijke vijanden van deze belagers. Deze kennis kan worden ingezet in de ontwikkeling van methoden voor een duurzame bescherming van planten tegen hun belagers.

Dit onderzoek is ondergebracht in de onderzoekscholen Production Ecology and Resource Conservation (PE&RC) en Experimentele Plantenwetenschappen (EPW).

## De nationale onderzoeksthema's en lokale onderzoeksprogramma's in verband

Lokale onderzoeksprogramma's <sup>1</sup>		A	B	C	D	E	F	G
UVA-1	De Levende Cel: Organisatie en Regulatie van Cellulaire Functies		\$	\$			\$	
UVA-2	De Levende Cel: Neurobiologie, van Cel tot Neuronale Netwerken	\$	\$					
UVA-3	Biodiversiteit, Evolutie en Ecosysteemdynamica					\$		\$
VU-1	(Dys-)Functioneren van Neuronale Netwerken	\$	\$		\$			
VU-2	Adaptatie-processen in Ecosystemen	\$						\$
VU-3	Moleculaire Dynamiek van de Levende Cel	\$		\$	\$			
RUG-1	Evolutionaire Ecologie en Voedselweb-analyse					\$		\$
RUG-2	Gedrag en Zenuwstelsel		\$					
RUG-3	Functional Genomics van Prokaryote en Eukaryote Cellen			\$				
UL-1	Evolutiebiologie en Soort-interacties					\$	\$	
UL-2	Moleculaire Signaalmechanismen bij Plant-Microbe Interacties			\$			\$	
UL-3	Botanische Biodiversiteit					\$		
KUN-1	Adaptatie en Functioneren van Organismen in Zoetwater-ecosystemen							\$
KUN-2	Plant-ontwikkeling en Reproductie van de Plant	\$			\$			
KUN-3	Neurale en Neuro-endocriene Adaptatiefysiologie	\$	\$					
KUN-4	Genomische Responsen op Extracellulaire Signalen			\$				
UU-1	Moleculaire Ontwikkelingsbiologie				\$			
UU-2	Stress-signalling en Adaptatie bij Planten	\$						\$
UU-3	Structurele en Functionele Biologie			\$				
UU-4	Gedragsbiologie en Neurobiologie		\$					
WU-1	Genetica en Ontwikkelingsbiologie bij Planten	\$			\$			
WU-2	Adaptief Vermogen bij Dieren	\$						
WU-3	Ecologie van Natuurlijke en Agro-ecosystemen							\$
WU-4	Interacties tussen Planten, Plantenbelagers en hun Vijanden						\$	

<sup>1</sup> Nationale onderzoeksthema's:

- A. Signaaloverdracht bij adaptie
- B. Werking van het zenuwstelsel
- C. Regulatie van cellulaire fysiologie
- D. Ontwikkelingsprocessen
- E. Dynamiek van biodiversiteit
- F. Multitrofe interacties
- G. Ecosysteemprocessen





Onderzoekscholen <sup>1</sup>	UVA	VU	RUG	UL	KUN	UU	WU	Partners <sup>2</sup>
BCN (I, L, N, SW)			<b>P</b>					
BioCentrum A'dam (N,S)	<b>P</b>	+						
Biodiversiteit	<b>P</b>			+		+	+	CBS, NNM
Biomembranen(D, MW, S)						<b>P</b>		
BSDL (S, TW)				(+)			(+)	TUD (P)
Cellular Signalling (MW, S)					<b>P</b>			
EPW (S)				+	+	+	<b>P</b>	
Functionele Ecologie	+		<b>P</b>	+	+	+		NIOO, NIOZ
GBB (S, TW)			<b>P</b>					
Helmholtz Instituut (MW, N, SW)						(P)		EUR
ICG (A)	(P)	(+)	(+)	(+)				KU Leuven
NICI (I, L, MW, N, SW, W,)					(P)			
NSG (A)		(P)				(+)		
Ontwikkelingsbiologie (MW)						<b>P</b>		NIOB
ONWA (MW)	+	<b>P</b>						NIH, IOI
Pathofysiol. Zenuwstelsel (F, MW)						(P)		
PE&RC (A, W)							<b>P</b>	
SENSE (A, N, S, SW)	+	<b>P</b>		(+)		(+)	(+)	
WIAS (D)							<b>P</b>	

<sup>1</sup> Tussen haakjes staat bij de betreffende onderzoekschool aangegeven welke andere disciplines dan biologie participeren in deze onderzoekschool (A = Aardwetenschappen; D = Diergeneeskunde; F = Farmacie; I = Informatica; L = Letteren; M = Medische Wetenschappen; N = Natuurkunde; S = Scheikunde; SW = Sociale Wetenschappen; TW = Technische Wetenschappen; W = Wiskunde)

<sup>2</sup> Overige (formele) partners in de betreffende onderzoekschool

**P** Penvoerende instelling

(+) of (**P**) Zwaartepunt van de participatie van de betreffende instelling ligt bij andere (sub)faculteiten/afdelingen dan biologie



Op de volgende pagina's wordt een overzicht gegeven van de leerstoelen die zijn verbonden aan de zeven opleidingen biologie<sup>1</sup>.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen fulltime en deeltijd leerstoelen, alsmede bijzonder en persoonlijk hoogleraarschappen.

Per categorie worden de hoogleraren in alfabetische volgorde gepresenteerd en wordt tevens aangegeven welke vacatures er zijn op het moment van afsluiten van het manuscript van dit rapport.

Per hoogleraar wordt aangeduid tot welk biologisch onderzoeksprogramma van de betreffende instelling het onderzoek van hem/haar wordt gerekend.

Het overzicht per instelling wordt afgesloten met een opsomming van deze onderzoeksprogramma's en het aantal fte vast wetenschappelijk personeel dat daarvoor werkzaam is.

In bijlage IV-B zijn alle hoogleraren van de zeven opleidingen alfabetisch gerangschikt onder vermelding van hun leeropdracht.

<sup>1</sup> i.c. de zeven instellingen die een opleiding Biologie verzorgen:

UVA	Universiteit van Amsterdam
VUA	Vrije Universiteit Amsterdam
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
UL	Universiteit Leiden
KUN	Katholieke Universiteit Nijmegen
UU	Universiteit Utrecht
WU	Wageningen Universiteit

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<b>Fulltime</b>		
Admiraal	Aquatische ecotoxicologie	3
Cornelissen	Fytopathologie	1
Van den Ende	Plantenfysiologie	1 (+ vdL, zie Haring)
Grivell	Moleculaire biologie	1
Haring	Plantenfysiologie	1 (vdL, naast Van den Ende)
Hooghiemstra	Palynologie en kwartair-ecologie	3
mw. Joëls	Algemene dierkunde	2
Lopes da Silva	Dierfysiologie	2
Menken	Evolutiebiologie	3
Nanninga	Moleculaire cytologie	1 (+ vdL)
Sabelis	Populatiebiologie	3
Schram, F.R.	Systematiek en biogeografie van dieren	3
Wadman	Cellulaire en moleculaire neurobiologie	2
<i>vacature</i>	Bioinformatica	1
<i>vacature</i>	Experimentele plantensystematiek	3
<i>vacature</i>	Moleculaire cytologie	1 (vdL, zie Nanninga)
<b>Deeltijd (allen een 0.2 aanstelling bij de faculteit)</b>		
Aalberse	Biologische immunologie	2
Mur	Aquatische milieubiologie	3
Schram, A.W.	Toegepaste biologie	1
Schreurs	Algemene en experimentele voedingsleer	2
<i>vacature</i>	Global change	3
<i>vacature</i>	Mathematische biologie	3
<b>Bijzonder (allen 0.2 fte inzet)</b>		
Bak	Tropische mariene biologie	3
Boon	Moleculaire paleobotanie	3
Borst	Experimentele oncologie	2
Brul	Industriële moleculaire microbiologie	1
Buijs	Neuro-endocrinologie	2
De Hoog	Mycologie	3
De Jong	Moleculaire diersystematiek	3
Kruse	Geneesmiddelenonderzoek	2
<i>vacature</i>	Internationale natuurbescherming	3
<i>vacature</i>	Fyllosfeerwetenschappen	3
<i>vacature</i>	Ontwikkelingsfysiologie	2
<i>vacature</i>	Tropische plantkunde	3

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:

Onderzoeksprogramma 1: De levende cel: organisatie en regulatie van cellulaire functies (13 fte)

Onderzoeksprogramma 2: De levende cel: neurobiologie, van cel tot neuronale netwerken (10 fte)

Onderzoeksprogramma 3: Biodiversiteit, evolutie en ecosysteemdynamica (20 fte)

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Aerts	Systeemecologie	2
mw. Bartels	Ecofysiologie van planten	2 (vdL, naast Ernst)
Brussaard	Neurofysiologie	1
mw. Bunders	Biologie en samenleving	<sup>2</sup>
Ernst	Ecofysiologie van planten	2 (+ vdL)
Gahr	Ontwikkelingsbiologie van het zenuwstelsel	1
Geraerts	Dierkunde	1
Kooijman	Theoretische biologie	2
Kraayenhof	Fysiologie en biochemie van planten	3 (+ vdL, zie Lill)
Lill	Structuurbiologie	3 (vdL, naast Kraayenhof)
Mol	Moleculaire genetica	3
Nijkamp	Genetica	3 (tot 1-4-2002)
Oudega	Moleculaire microbiologie	3
Van Straalen	Dierecologie	2
Verhage	Functionele genomanalyse	1
Westerhoff	Moleculaire celfysiologie	3
<u>Deeltijd</u> (tussen haakjes staat de omvang van de aanstelling bij de faculteit)		
Visser (0.2)	Biologische microspectroscopie	3
<u>Bijzonder</u>		
Eijsackers	Natuurbehoud en milieukwaliteit	2
Lankelma	Tumorcelbiologie	3
Veltkamp	Toegepaste genetica	3
Verhaagen	Moleculaire biologie van zenuwweefsel-regeneratie	1

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:  
 Onderzoeksprogramma 1: (Dys-)Functioneren van neuronale netwerken (14 fte)  
 Onderzoeksprogramma 2: Adaptatie-processen in ecosystemen (22 fte)  
 Onderzoeksprogramma 3: Macromoleculaire dynamiek van de levende cel (19 fte)  
<sup>2</sup> Analysis of science-based innovations (4 fte)

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Van Andel	Plantenecologie	1
Daan	Ethologie	2
Van Delden	Populatiegenetica	1
Dijkhuizen	Microbiologie	3
Drent	Dierkunde	1 (+ vdL)
Driessen	Moleculaire microbiologie	3 (vdL, naast Konings)
Elzenga	Ecofysiologie van planten	1
Hille	Moleculaire biologie van planten	3
Konings	Microbiologie	3 (+ vdL, zie Driessen)
Koolhaas	Dierfysiologie, in het bijzonder gedragsfysiologie	2
Kruijer	Cel- en moleculaire genetica van dierlijke systemen	3
Kuipers	Moleculaire genetica van prokaryoten	3
Luiten	Moleculaire neurobiologie	2
Wolff	Mariene biologie	1
vacature	Dierecologie	1 (vdL, zie Drent)
vacature	Microbiële ecologie	1
vacature	Dierkunde, in het bijzonder de neurobiologie	2
<u>Deeltijd (tussen haakjes staat de omvang van de aanstelling bij de faculteit)</u>		
De Baar (0.3)	Algemene oceanologie	1
<u>Bijzonder</u>		
Bakker	Natuurbeheer	2
Steffens	Stofwisselingsfysiologie	2
<u>Buiten bezwaar</u>		
Harder	Microbiologie	3
Heip	Estuariene ecologie	1
Herndl	Biologische oceanografie	1
De Leij	Medische biologie	2
<u>Persoonlijk</u>		
mw. Olsen	Moleculaire ecologie van het mariene milieu	1

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:  
 Onderzoeksprogramma 1: Evolutionaire ecologie en voedselweb-analyse (29 fte)  
 Onderzoeksprogramma 2: Gedrag en zenuwstelsel (14 fte)  
 Onderzoeksprogramma 3: Functional genomics van prokaryote en eukaryote cellen (16 fte)

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Van Alphen	Dierenecologie	1
Baas	Systematische plantkunde	3
Bol	Biochemie	2
Brakefield	Evolutiebiologie	1
Ten Cate	Ethologie	1
Hooykaas	Genetica van eukaryoten	2
Kijne	Plantenfysiologie	2
Lugtenberg	Botanische microbiologie	2
Van der Meijden	Ecologie van plant-dier relaties	1
Metz	Mathematische biologie	1
Richardson	Evolutionaire ontwikkelingszoölogie	1 (vdL, naast Zweers)
Spaak	Moleculaire celbiologie	2
Zweers	Dynamische morfologie	1 (+ vdL, zie Richardson)
<u>Deeltijd</u> (tussen haakjes staat de omvang van de aanstelling bij de faculteit)		
Gittenberger (0.3)	Systematische dierkunde	1
<u>Bijzonder</u>		
Van den Hondel	Gentechnologie van filamenteuze schimmels	2
mw. Kornet	Wijsgerige biologie	1
Mabberley	Systematische planten解剖学	3
Slikkerveer	Ethnobotanische kennisystemen	3
Van Veen	Microbiële ecologie	1
Videler	Evolutionaire mechanica	1

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:

Onderzoeksprogramma 1: Evolutiebiologie en soort-interacties (27 fte)

Onderzoeksprogramma 2: Signalling bij plant-microbe interacties (22 fte)

Onderzoeksprogramma 3: Botanische biodiversiteit (12 fte)

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Van Groenendael	Aquatische ecologie en milieubiologie	1
Jetten	Ecologische microbiologie	1
De Kroon	Experimentele plantencologie	1
mw. Mariani	Celbiologie van de plant	2
Martens	Moleculaire dierfysiologie	3
Roubos	Cellulaire dierfysiologie	3
Stunnenberg	Moleculaire biologie	4
Van Zoelen	Celbiologie	4
<i>vacature</i>	Plantengenetica	2
<i>vacature</i>	Organismale dierfysiologie	3
<u>Deeltijd (tussen haakjes staat de omvang van de aanstelling bij de faculteit)</u>		
Olijve (0.2)	Toegepaste biologie	4
Wendelaar Bonga (0.2)	Dierecofysiologie	1
Wullems (0.2)	Moleculaire plantenfysiologie	2
Van der Zwaan (0.3)	Biogeologie	1
<u>Persoonlijk</u>		
Blom (0.0)	Plantencologie	1
<u>Bijzonder</u>		
mw. Van Donk	Limnologie	1
Van Griensven	Toegepaste mycologie	1
Hemminga	Estuariene ecologie	1
Laanbroek	Bodembioogie	1
Smits	Natuurontwikkeling in stroomgebieden	1
mw. Van Vloten-Doting	Somatische celgenetica van de plant	2
Werry	Organisatie en coördinatie van toegepast biologisch onderzoek	2
Ypeij	Elektrofysiologie van celmembranen	3

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:

Onderzoeksprogramma 1: Adaptatie en functioneren van organismen in zoetwater-ecosystemen (13 fte)

Onderzoeksprogramma 2: Plant-ontwikkeling en reproductie van de plant (5 fte)

Onderzoeksprogramma 3: Neurale en neuro-endocriene adaptatiefysiologie (8 fte)

Onderzoeksprogramma 4: Genomische responsen op extracellulaire signalen (6 fte)



Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Boersma	Didactiek van de biologie	2
Goos	Endocrinologie	1
Van de Grind	Neuro-ethologie	4
Hoekstra	Microbiologie	3 (+ <i>vdL</i> , zie Wösten)
mw. Hogeweg	Theoretische biologie (bio-informatica)	3
Van Hooff	Ethologie & socio-ecologie	4
Van der Horst	Stofwisselingsfysiologie	3
Kollöffel	Transportfysiologie (algemene plantkunde)	2
Van Loon	Fytopathologie	2
Lotter	Paleobotanie en palynologie	2 ( <i>vdL</i> , zie Visscher)
Seinen	Biologische toxicologie	3
Smeekens	Moleculaire plantenfysiologie	2
Verkleij	Elektronenmicroscopische structuuranalyse	3
Visscher	Paleobotanie en palynologie	2 (+ <i>vdL</i> , zie Lotter)
Voesenek	Ecofysiologie van planten	2
Weisbeek	Moleculaire genetica	3
Werger	Planten- en vegetatie-ecologie	2
Wösten	Microbiologie	3 ( <i>vdL</i> , zie Hoekstra)
Zeller	Ontwikkelingsbiologie	1
<u>Deeltijd</u> (tussen haakjes staat de omvang van de aanstelling bij de faculteit)		
Van Damme (0.0)	Ecologische populatiegenetica	2
Lambers (0.2)	Ecofysiologie	2
Van Leeuwen (0.2)	Biologische toxicologie met bijzondere aandacht voor ecologische risicoschatting	3
Van Noordwijk (0.0)	Populatie-ecologie van dieren	4
Plasterk (0.1)	Ontwikkelingsgenetica	1
Verrips (0.2)	Toegepaste moleculaire biologie	3
<u>Bijzonder</u>		
Durston	Organismale embryologie	1
Maas	Plantensystematiek	2
mw. Margadant	Natuur- en milieu-educatie	2
Sayer	Internationale aspecten van natuurbescherming	2
Scheres	Ontwikkelingsgenetica	1
Whigham	Landschapsecologie	2

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel:  
 Onderzoeksprogramma 1: Moleculaire ontwikkelingsbiologie (10 fte)  
 Onderzoeksprogramma 2: Stress-signalling en adaptatie bij planten (22 fte)  
 Onderzoeksprogramma 3: Structurele en functionele biologie (20 fte)  
 Onderzoeksprogramma 4: Gedragsbiologie en neurobiologie (8 fte)

<sup>2</sup> Didactiek van de biologie (4 fte)

## Vooropmerking

Wageningen Universiteit kent wel een studierichting Biologie, maar geen organisatorische eenheid die te vergelijken is met een (sub)faculteit Biologie aan andere universiteiten.

De leerstoelen die passen binnen de vier beschreven onderzoeksprogramma's worden hieronder aangegeven, inclusief de bij deze leerstoelen behorende totale (UD/UHD) formatie in fte's, hoewel deze formatie niet noodzakelijkerwijs uitsluitend voor het biologie-onderwijs wordt ingezet.

Leerstoelen die participeren in het biologie-onderwijs, maar niet passen binnen de aangegeven onderzoeksprogramma's, zijn zonder aanduiding i.c. met een – weergegeven.

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
Bakker	Nematologie	4
Berendse	Natuurbeheer en plantenecologie	3
Bisseling	Moleculaire biologie, met bijzondere aandacht voor ontwikkelingsbiologie van planten	1
Brascamp	Fokkerij en (toegepaste) genetica	2
Brussaard	Bodembioecologie en biologische bodemkwaliteit	3
Goldbach	Virologie	4
Van der Heide	Fysiologie van mens en dier	2
Hoekstra	Genetica, in het bijzonder populatie en genetica	3
Jacobsen	Plantenveredeling, in het bijzonder genetische kwantitatieve variatie en reproductie	1
Kemp	Adaptatiefysiologie	2
Kropff	Gewas- en onkruidedecologie	3
Van Leeuwen	Experimentele dierkunde	2
Van Lenteren	Entomologie	4
Van Muiswinkel	Celbiologie en immunologie	2 (+ vdL, zie Savelkoul)
Van der Plas	Plantenfysiologie	1
Prins	Natuurbeheer in de tropen en ecologie van vertebraten	3
Rabbinge	Plantaardige productiesystemen	3
Savelkoul	Celbiologie en immunologie	2 (vdL, naast van Muiswinkel)
Schaafsma	Moleculaire fysica (wordt: biofysica)	1
Scheffer	Aquatische ecologie en waterkwaliteitsbeheer	3
Spruijt	Ethologie	2
Stam	Plantenveredeling, in het bijzonder selectiemethoden en resistentieveredeling	1
Verreth	Visteelt en visserij	2
De Vos	Microbiologie	-
Van Went	Plantencelbiologie	1
De Wit	Fytopathologie	4
vacature	Biosystematiek	1

Naam hoogleraar	Leeropdracht	Onderzoeksprogramma <sup>1</sup>
<u>Fulltime</u>		
<i>vacature</i>	Biochemie	–
<i>vacature</i>	Toxicologie	–
<u>Bijzonder</u>		
Cleef	Tropische vegetatie-ecologie en -kartering	3
Dicke	Insect-plant relaties, in het bijzonder tritrofe interacties	4
Opdam	Landschapsecologie	3
Schouten	Ecologie van natuurherstel	3
Stiekema	Bioinformatica, in het bijzonder genomics	1
Sykora	Ecologische inrichting en beheer infrastructuur	3
mw. Vet	Evolutionaire ecologie	4
<u>Persoonlijk</u>		
Van Arendonk	Kwantitatieve genetica	2
Goudriaan	Plantaardige productiesystemen	3
Van Keulen	Plantaardige productiesystemen, met bijzondere aandacht voor bodem-plant-dier-relaties	3
Koornneef	Botanische genetica	1
mw. Rietjens	Biochemische toxicologie	–
Van Vierssen	Aquatische ecologie	3
Visser	Plantenveredeling	1
Vlak	Virologie	4
De Vries	Moleculaire biologie	1

<sup>1</sup> Omvang onderzoeksprogramma's in fte vast wetenschappelijk personeel (zie ook vooropmerking):  
Onderzoeksprogramma 1: Genetica en ontwikkelingsbiologie van planten ( 45 fte)  
Onderzoeksprogramma 2: Adaptief vermogen van dieren (38 fte)  
Onderzoeksprogramma 3: Ecologie van natuurlijke en agro-ecosystemen (48 fte)  
Onderzoeksprogramma 4: Interacties tussen planten, plantenbelagers en hun vijanden (27 fte)  
Leerstoelgroepen Biochemie, Toxicologie en Microbiologie: 20 fte.



Op de volgende pagina's zijn de hoogleraren van de 'faculteiten'/opleidingen biologie alfabetisch op achternaam gerangschikt, met vermelding van de instelling ('univ.') waaraan de leerstoel is verbonden en de titel van de leeropdracht. Alle genoemde personen hebben de, verder niet meer vermelde, titels 'prof. dr.'

Waar er geen nadere aanduiding tussen haakjes (\*) staat, betreft het voltijds leerstoelen.

Gebruikte afkortingen:

bb: buiten bezwaar

bijz.: bijzondere leerstoel

dt: deeltijd leerstoel

pers.: persoonlijk hoogleraar

Naam	Univ.	Leeropdracht
Aalberse, R.C.	UVA	Biologische immunologie (dt)
Admiraal, W.	UVA	Aquatische ecotoxicologie
Aerts, M.A.P.A.	VUA	Systeemecologie
Alphen, J.J.M. van	UL	Dierenecologie
Andel, J. van	RUG	Plantenecologie
Arendonk, ir. J.A.M. van	WU	Kwantitatieve genetica (pers.)
Baar, ir. H.J.W. de	RUG	Algemene oceanologie (dt)
Baas, P.	UL	Systematische plantkunde
Bak, R.P.M.	UVA	Tropische mariene biologie (bijz.)
Bakker, ir. J.	WU	Nematologie
Bakker, J.P.	RUG	Natuurbeheer (bijz.)
Bartels, mw. D.	VUA	Ecofysiologie van planten
Berendse, F.	WU	Natuurbeheer en plantenecologie
Bisseling, A.H.J.	WU	Moleculaire biologie, met bijzondere aandacht voor ontwikkelingsbiologie van planten
Blom, C.W.P.M.	KUN	Plantenecologie (pers.)
Boersma, K.Th.	UU	Didactiek van de biologie
Bol, J.F.	UL	Biochemie
Boon, J.J.	UVA	Moleculaire paleobotanie (bijz.)
Borst, P.	UVA	Experimentele oncologie (bijz.)
Brakefield, P.M.	UL	Evolutiebiologie
Brascamp, ir. E.W.	WU	Fokkerij en (toegepaste) genetica
Brul, S.	UVA	Industriële moleculaire microbiologie (bijz.)
Brussaard, A.B.	VUA	Neurofysiologie
Brussaard, L.	WU	Bodembiologie en biologische bodemkwaliteit
Buijs, R.M.	UVA	Neuro-endocrinologie (bijz.)
Bunders, mw. J.F.G.	VUA	Biologie en samenleving
Cate, C.J. ten	UL	Ethologie
Cleef, A.M.	WU	Tropische vegetatie-ecologie en -kartering (bijz.)
Cornelissen, B.J.C.	UVA	Fytopathologie
Daan, S.	RUG	Ethologie
Damme, J.M.M. van	UU	Ecologische populatiegenetica (dt.)
Delden, W. van	RUG	Populatiegenetica
Dicke, M.	WU	Insect-plantrelaties, in het bijzonder tritrofe relaties (bijz.)
Dijkhuizen, L.	RUG	Microbiologie
Donk, mw. E. van	KUN	Limnologie (bijz.)
Drent, R.H.	RUG	Dierkunde
Driessen, A.J.M.	RUG	Moleculaire microbiologie
Durston, A.J.	UU	Organismale embryologie (bijz.)
Eijsackers, H.J.P.	VUA	Natuurbehoud en milieukwaliteit (bijz.)
Elzenga, J.T.M.	RUG	Ecofysiologie van planten
Ende, H. van den	UVA	Plantenfysiologie
Ernst, W.H.O.	VUA	Ecofysiologie van planten
Gahr, M.L.	VUA	Ontwikkelingsbiologie van het zenuwstelsel

Naam	Univ.	Leeropdracht
Geraerts, W.P.M.	VUA	Dierkunde
Gittenberger, E.	UL	Systematische dierkunde (dt)
Goldbach, R.W.	WU	Virologie
Goos, H.J.Th.	UU	Endocrinologie
Goudriaan, ir. J.	WU	Plantaardige productiesystemen (pers.)
Griensven, ir. L.J.L.D. van	KUN	Toegepaste mycologie (bijz.)
Grind, ir. W.A.P.F.L. van de	UU	Neuro-ethologie
Grivell, L.A.	UVA	Moleculaire biologie
Groenendael, J.M. van	KUN	Aquatische ecologie en milieubiologie
Harder, W.	RUG	Microbiologie (bb)
Haring, M.A.	UVA	Plantenfysiologie
Heide, D. van der	WU	Fysiologie van mens en dier
Heip, C.H.R.	RUG	Estuariene ecologie (bb)
Hemminga, M.A.	KUN	Estuariene ecologie (bijz.)
Herndl, G.J.	RUG	Biologische oceanografie (bb)
Hille, J.	RUG	Moleculaire biologie van planten
Hoekstra, R.F.	WU	Genetica, in het bijzonder populatie- en kwantitatieve genetica
Hoekstra, W.P.M.	UU	Microbiologie
Hogeweg, mw. P.	UU	Theoretische biologie (bio-informatica)
Hondel, C.A.M.J.J. van den	UL	Gentechnologie van filamenteuze schimmels (bijz.)
Hooff, J.A.R.A.M. van	UU	Ethologie & socio-ecologie
Hoog, G.S. de	UVA	Mycologie (bijz.)
Hooghiemstra, H.	UVA	Palynologie en kwartair-ecologie
Hooykaas, P.J.J.	UL	Genetica van eukaryoten
Horst, D.J. van der	UU	Stofwisselingsfysiologie
Jacobsen, ir. E.	WU	Plantenveredeling, in het bijzonder genetische variatie en reproductie
Jetten, M.S.M.	KUN	Ecologische microbiologie
Joëls, mw. M.	UVA	Algemene dierkunde
Jong, W.W. de	UVA	Moleculaire diersystematiek (bijz.)
Kemp, ir. B.	WU	Adaptatiefysiologie
Keulen, ir. H. van	WU	Plantaardige productiesystemen, met bijzondere aandacht voor bodem-plant-dier-relaties (pers.)
Kijne, J.W.	UL	Plantenfysiologie
Kollöffel, Chr.	UU	Transportfysiologie (algemene plantkunde)
Konings, W.N.	RUG	Microbiologie
Kooijman, S.A.L.M.	VUA	Theoretische biologie
Koolhaas, J.M.	RUG	Dierfysiologie, in het bijzonder gedragsfysiologie
Koornneef, ir. M.	WU	Botanische genetica (pers.)
Kornet, mw. D.J.	UL	Wijsgerige biologie (bijz.)
Kraayenhof, R.	VUA	Fysiologie en biochemie van planten
Kroon, J.C.J.M. de	KUN	Experimentele plantencologie
Kropff, M.J.	WU	Gewas- en onkruidecologie

Naam	Univ.	Leeropdracht
Kruijer, W.	RUG	Cel- en moleculaire genetica van dierlijke systemen
Kruse, C.	UVA	Geneesmiddelenonderzoek (bijz.)
Kuipers, O.P.	RUG	Moleculaire genetica van prokaryoten
Laanbroek, H.J.	KUN	Bodembiologie (bijz.)
Lambers, J.T.	UU	Ecofysiologie (dt)
Lankelma, J.	VUA	Tumorcelbiologie (bijz.)
Leeuwen, C.J. van	UU	Biologische toxicologie met bijzondere aandacht voor ecologische risicoschatting (dt)
Leeuwen, ir. J. van	WU	Experimentele dierkunde
Leij, L.F.M.H. de	RUG	Medische biologie (bb)
Lenteren, J.C. van	WU	Entomologie
Lill, H.	VUA	Structuurbiologie
Loon, ir. L.C. van	UU	Fytopathologie
Lopes da Silva, F.H.	UVA	Dierfysiologie
Lotter, A.F.	UU	Paleobotanie en palynologie
Lugtenberg, E.J.J.	UL	Botanische microbiologie
Luiten, P.G.M.	RUG	Moleculaire neurobiologie
Maas, P.J.M.	UU	Plantensystematiek (bijz.)
Mabberley, D.J.	UL	Systematische planten解剖 (bijz.)
Margadant, mw. M.J.A.	UU	Natuur- en milieu-educatie (bijz.)
Mariani, mw. C.	KUN	Celbiologie van de plant
Martens, G.J.M.	KUN	Moleculaire dierfysiologie
Meijden, E. van der	UL	Ecologie van plant-dier relaties
Menken, S.B.J.	UVA	Evolutiebiologie
Metz, J.A.J.	UL	Mathematische biologie
Mol, J.N.M.	VUA	Moleculaire genetica
Muiswinkel, W.B. van	WU	Celbiologie en immunologie
Mur, L.R.	UVA	Aquatische milieubiologie (dt)
Nanninga, N.	UVA	Moleculaire cytologie
Nijkamp, H.J.J.	VUA	Genetica
Noordwijk, A.J. van	UU	Populatie-ecologie van dieren (bijz.)
Olijve, W.	KUN	Toegepaste biologie (dt)
Olsen, mw. J.L.	RUG	Moleculaire ecologie van het mariene milieu (pers.)
Opdam, P.F.M.	WU	Landschapsecologie (bijz.)
Oudega, B.	VUA	Moleculaire microbiologie
Plas, L.H.W. van der	WU	Plantenfysiologie
Plasterk, R.H.A.	UU	Ontwikkelingsgenetica (dt)
Prins, H.H.T.	WU	Natuurbeheer in de tropen en ecologie van vertebraten
Rabbinge, ir. R.	WU	Plantaardige productiesystemen
Richardson, M.K.	UL	Evolutionaire ontwikkelingszoölogie
Rietjens, mw. ir. I.M.C.M.	WU	Biochemie (pers.)
Roubos, E.W.	KUN	Cellulaire dierfysiologie
Sabelis, M.W.	UVA	Populatiebiologie
Savelkoul, ir. H.F.J.	WU	Celbiologie en immunologie



Naam	Univ.	Leeropdracht
Sayer, J.A.	UU	Internationale aspecten van natuurbescherming (bijz.)
Schaafsma, T.J.	WU	Moleculaire fysica (biofysica)
Scheffer, M.	WU	Aquatische ecologie en waterkwaliteitsbeheer
Scheres, B.J.G.	UU	Ontwikkelingsgenetica (bijz.)
Schouten, M.G.C.	WU	Ecologie van natuurherstel (bijz.)
Schram, A.W.	UVA	Toegepaste biologie (dt)
Schram, F.R.	UVA	Systematiek en biogeografie van dieren
Schreurs, W.H.P.	UVA	Algemene en experimentele voedingsleer (dt)
Seinen, W.	UU	Biologische toxicologie
Slikkerveer, L.J.	UL	Ethnobotanische kennissystemen (bijz.)
Smeekens, J.C.M.	UU	Moleculaire plantenfysiologie
Smits, A.J.M.	KUN	Natuurontwikkeling in stroomgebieden (bijz.)
Spaank, H.P.	UL	Moleculaire celbiologie
Spruijt, B.M.	WU	Ethologie
Stam, ir. P.	WU	Plantenveredeling, in het bijzonder selectiemethoden en resistentieveredeling
Steffens, A.B.	RUG	Stofwisselingsfysiologie (bijz.)
Stiekema, W.J.	WU	Bioinformatica, in het bijzonder genomics (bijz.)
Straalen, N.M. van	VUA	Dierecologie
Stunnenberg, H.G.	KUN	Moleculaire biologie
Sykora, K.V.	WU	Ecologische inrichting en beheer infrastructuur (bijz.)
Veen, J.A. van	UL	Microbiële ecologie (bijz.)
Veltkamp, E.	VUA	Toegepaste genetica (bijz.)
Verhaagen, J.	VUA	Moleculaire biologie van zenuwweefsel-regeneratie (bijz.)
Verhage, M.	VUA	Functionele genomanalyse
Verkleij, A.J.	UU	Elektronenmicroscopische structuuranalyse
Verreth, J.A.J.	WU	Visteelt en visserij
Verrips, ir. C.T.	UU	Toegepaste moleculaire biologie (bijz.)
Vet, mw. L.E.M.	WU	Evolutionaire ecologie (bijz.)
Videler, J.J.	UL	Evolutionaire mechanica (bijz.)
Vierssen, W. van	WU	Aquatische ecologie (pers.)
Visscher, H.	UU	Paleobotanie en palynologie
Visser, A.J.W.G.	VUA	Biologische microspectroscopie (dt)
Visser, R.G.F.	WU	Plantenveredeling (pers.)
Vlak, J.M.	WU	Virologie (pers.)
Vloten-Doting, mw. L. van	KUN	Somatische celgenetica van de plant (bijz.)
Voesenek, L.A.C.J.	UU	Ecofysiologie van planten
Vos, W.M. de	WU	Microbiologie
Vries, S.C. de	WU	Moleculaire biologie
Wadman, W.J.	UVA	Cellulaire en moleculaire neurobiologie
Weisbeek, P.J.	UU	Moleculaire genetica
Wendelaar Bonga, S.E.	KUN	Dierecofysiologie (dt)
Went, J.L. van	WU	Plantencelbiologie
Werger, M.J.A.	UU	Planten- en vegetatie-ecologie

Naam	Univ.	Leeropdracht
Werry, P.A.Th.J.	KUN	Organisatie en coördinatie van toegepast biologisch onderzoek (bijz.)
Westerhoff, H.V.	VUA	Moleculaire celfysiologie
Whigham, D.F.	UU	Landschapsecologie (bijz.)
Wit, ir. P.J.G.M. de	WU	Fytopathologie
Wolff, W.J.	RUG	Mariene biologie
Wösten, H.	UU	Microbiologie
Wullems, G.J.	KUN	Moleculaire plantenfysiologie (dt)
Ypeij, D.L.	KUN	Elektrofysiologie van celmembranen (bijz.)
Zeller, R.	UU	Ontwikkelingsbiologie
Zoelen, E.J.J. van	KUN	Celbiologie
Zwaan, G.J. van der	KUN	Biogeologie (dt)
Zweers, G.A.	UL	Dynamische morfologie

## Lijst van afkortingen

aio	assistent in opleiding
ALW	(gebied) Aard- en Levenswetenschappen (NWO)
AMC	Academisch Medisch Centrum (UVA)
ATP	Adenosine triphosphate
ATO	DLO-Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek
AWT	Adviesraad voor het Wetenschaps- en Technologiebeleid
BCN	onderzoekschool Behavioral and Cognitive Neurosciences (RUG)
BSC	Bachelor of Science
BSDL	onderzoekschool Biotechnological Sciences Delft Leiden
CBN	Center for Behaviour and Neurosciences (RUG)
CBS	Centraalbureau voor Schimmelcultures (KNAW)
CDB	Commissie Disciplineplan Biologie
CEES	Centrum voor Ecologische en Evolutionaire Wetenschappen (RUG)
CLB	Centraal Laboratorium van de Bloedtransfusiedienst
CMBI	Centrum voor Moleculaire and Biomoleculaire Informatica (KUN)
CML	Centrum voor Milieukunde Leiden (UL)
CWI	Centrum voor Wiskunde en Informatica (NWO)
CZS	Centrale zenuwstelsel
DLO	Dienst Landbouwkundig Onderzoek (LNV; zie ook WUR)
DNA	Deoxyribonucleic acid
EEW	Instituut voor Evolutionaire en Ecologische Wetenschappen (UL)
EMBL	European Molecular Biology Laboratory
EPW	onderzoekschool Experimentele Plantenwetenschappen
EUR	Erasmus Universiteit Rotterdam
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
FOM	stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (NWO)
FRET	Fluorescence Resonant Energy Transfer
fte	fulltime equivalent
GBB	Groningen Biomolecular Sciences and Biotechnology Institute (RUG)
IBED	Instituut voor Biodiversiteit en Ecosysteemdynamica (UVA)
ICG	onderzoekschool Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek
ICIN	Interuniversitair Cardiologisch Instituut Nederland (KNAW)
ID	Instituut voor Dierhouderij en Diergezondheid (ID--Lelystad) (WUR)
IEW	Instituut voor Ecologische Wetenschappen (VU)
IHE	International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering
IMBW	Instituut voor Moleculair Biologische Wetenschappen (VU)
IMP	Instituut voor Moleculaire Plantkunde (UL)
IOI	Interuniversitair Oogheelkundig Instituut (KNAW)
ION-VU	interfacultair Instituut voor Neurowetenschappen (VU)
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KUN	Katholieke Universiteit Nijmegen
LEI	Landbouw Economisch Instituut (WUR)
LNV	(ministerie van) Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
MSC	Master of Science
MUB	wet Modernisering universitaire bestuursorganisatie

NHN	Nationaal Herbarium Nederland (UL, UU, WU)
NIBI	Nederlands Instituut voor Biologie
NIBICO	Nijmeegs Instituut voor Biocommunicatie (KUN)
NICI	Nijmeegs Instituut voor Cognitie en Informatie (KUN)
NIH	Nederlands Instituut voor Hersenonderzoek (KNAW)
NIMEP	Nijmeegs Instituut voor Microbiologie, Ecologie en Plantkunde (KUN)
NIOB	Nederlands Instituut voor Ontwikkelings Biologie, Hubrechtlaboratorium (KNAW)
NIOO	Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek (KNAW)
NIOZ	Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NWO)
NKI	Nederlands Kanker Instituut
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NNM	Nationaal Natuurhistorisch Museum (Naturalis)
NOWT	Nederlands Observatorium van Wetenschap en Technologie
NSG	Nederlandse onderzoekschool Sedimentaire Geologie
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
ocenw	(ministerie van) Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
OCV	Overlegcommissie Verkenningen
ONWA	Onderzoekschool Neurowetenschappen Amsterdam
PE&RC	C.T. de Wit onderzoekschool Production-ecology & Resource Conservation
PhD	Doctor of Philosophy
RAM	Random-access memory
RIKZ	Rijksinstituut voor Kust en Zee (v&w)
RITOX	(interfacultair) Research Institute of Toxicology (UU)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
SENSE	onderzoekschool Socio-Economic and Natural Sciences of the Environment
SILS	Swammerdam Institute of Life Sciences (UVA)
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TUD	Technische Universiteit Delft
UD	universitair docent
UHD	universitair hoofddocent
UL	Universiteit Leiden
UU	Universiteit Utrecht
UVA	Universiteit van Amsterdam
VCB	Verkenningscommissie Biologie
vdL	Van der Leeuw hoogleraar
VSNU	Vereniging van Universiteiten
VU(A)	Vrije Universiteit (Amsterdam)
v&w	(ministerie van) Verkeer en Waterstaat
WIAS	Wageningen Institute of Animal Sciences (WU)
WIMEK	Wageningen Instituut voor Milieu- en Klimaat Onderzoek (WU)
wp	wetenschappelijk personeel
WU	Wageningen Universiteit
WUR	Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WU & DLO)
ZMA	Zoölogisch Museum Amsterdam (UVA)