

## Ontwikkeling van een nieuw biologieprogramma in de 21<sup>ste</sup> eeuw

Kerst Th. Boersma, Centrum voor Bèta-Didactiek, Universiteit Utrecht  
Alfred Schermer, Instituut voor Didactiek van de Biologie, Amsterdam

### Summary

*The present biology program shows four major bottle-necks: overload, a shortage of coherence, a shortage of relevance for the student, and discontinuities between both primary and lower secondary and lower secondary and upper secondary education. To overcome these bottle-necks we do not propose to mend the present program, but to reconsider the choices of the last decennia and to develop a new biology program that meets the requirements of the first part of the 21<sup>st</sup> Century. We propose a program which aims at competencies which have relevance in daily life and further education. The biological component of the competencies, biological thinking, can be defined in terms of a limited number of key concepts. It is necessary to develop one longitudinal biology program from primary education to upper secondary education. Experience learns that about twenty years is needed to develop and implement the required changes in practice.*

### 1. Inleiding

Op de drempel van de 20<sup>ste</sup> naar de 21<sup>ste</sup> eeuw blijken zich in het Nederlandse biologieonderwijs ernstige problemen voor te doen. Voor een deel zijn dat problemen die de afgelopen decennia zijn blijven liggen (Schermer, 1988). Anderzijds is de afgelopen decennia ook onze wereld, en daarmee ook de biologie, in sterke mate veranderd. De impact van de biologie is in de 19<sup>de</sup> en 20<sup>ste</sup> eeuw alsnog toegenomen. Biologie is het schoolvak dat leerlingen niet alleen kennis laat maken met biologische objecten in een natuurlijke omgeving, maar ook met medische en agrarische aspecten van de samenleving, gebieden waarop de ontwikkelingen de laatste twee eeuwen net zo ingrijpend zijn geweest als op het gebied van de techniek. De uitspraak van de gewezen Amerikaanse president Clinton 'But seriously, my friends in science, if the last 50 years were the age of physics, the next 50 years will be the age of biology' (KNAW, 1997), mag dan wat bombastisch klinken en ook historisch gezien niet helemaal juist zijn, ongetwijfeld zal het belang van de biologie (inclusief de medische, agrarische en milieusector) in de 21<sup>ste</sup> eeuw nog toenemen.

De explosieve ontwikkeling van de levenswetenschappen brengt allerlei nieuwe problemen met zich mee, waardoor met name risicoanalyse en ethische aspecten in de 21<sup>ste</sup> eeuw een steeds belangrijker rol gaan spelen. De toegenomen medische zorg leidt tot een groeiende wereldbevolking, waardoor weer grootschalige milieuproblemen ontstaan, de biodiversiteit schrikbarend afneemt, en de voedselproductie voor die groeiende wereldbevolking ondanks de groene revolutie steeds meer zorgen baart. Terwijl 'oude' ziekten als malaria en tuberculose nog vele miljoenen treffen en doden, komen daar nieuwe, onbekende ziekten als AIDS, BSE,

Legionella, Ebola, en Salmonella bij, en worden bacteriën in toenemende mate resistent. Kort geleden stak de 'oude' ziekte MKZ weer de kop op met als gevolg dat het vrije vervoer van vee in Europa werd stilgelegd. Nieuwe technieken rond DNA en in de sfeer van de immunologie bieden weliswaar veelbelovende perspectieven, maar roepen tegelijkertijd veel wetenschappelijke en ethische vragen op. De steeds langere levensduur van de mens in de rijke landen roept discussies over 'een goed leven' op, maar ook over 'een goede dood'.

Deze ontwikkelingen roepen de vraag op of de biologieprogramma's voor het basisonderwijs, de basisvorming en de Tweede Fase wel een adequaat antwoord geven op wat in de 21<sup>e</sup> eeuw in de samenleving zal worden gevraagd. Gezien de problemen die er op dit punt nu al zijn, is het gewenst het biologieprogramma aan de eisen van de tijd aan te passen. Daarnaast moeten een aantal oude problemen worden opgelost, die al enkele decennia spelen. In dit artikel schetsen we eerst de problemen die zich in het huidige biologieonderwijs voordoen. Daarna schetsen we de contouren van een nieuw programma, waarmee niet alleen aan de eisen van de tijd kan worden voldaan, maar waarmee naar onze mening ook de nu problemen in het huidige biologieprogramma kunnen worden opgelost.

## **2. Knelpunten in het huidige biologieonderwijs**

De resultaten van de Third International Mathematics and Science Study (TIMSS) laten zien dat Nederlandse leerlingen uit de basisvorming en de Tweede Fase internationaal boven gemiddeld scoorden (Mullis et al., 1998; Martin et al., 2000; Bos & Vos, 2000). Daaraan kunnen echter nog geen conclusies verbonden worden over de absolute kwaliteit, omdat TIMSS een relatieve volgorde van landen laat zien. Voor de basisvorming is daarnaast echter ook het recente evaluatieonderzoek van de Inspectie beschikbaar (Inspectie van het Onderwijs, 1999). Dit onderzoek laat zien dat het onderwijsaanbod in de basisvorming de kerndoelen onvoldoende dekt en dat het biologieonderwijs op veel punten niet aan de daaraan te stellen kwaliteitseisen (relevantie voor leerlingen, actief leren, differentiatie) voldoet. Er lijkt weinig reden om te veronderstellen dat zich in de bovenbouw havo/vwo niet dezelfde of vergelijkbare problemen voordoen, ook al beschikken we daarover maar in beperkte mate over empirische gegevens (zie echter: Kamp, 2000). De problemen zijn overigens, net als in de basisvorming, maar ten dele specifiek voor biologie. Mede afgaand op de evaluatie van de basisvorming, zijn er vier problemen die er uitspringen: overladenheid, de geringe samenhang, relevantie voor leerlingen en het ontbreken van aansluiting tussen de verschillende sectoren van het onderwijs.

### *Overladenheid*

Een groot knelpunt is de overladenheid van het programma dat leerlingen in de basisvorming (Inspectie van het Onderwijs, 1999) en in de Tweede Fase (Kamp, 2000) krijgen aangeboden. Leerlingen moeten te veel leren in te weinig tijd. Toen de Tweede Fase nog maar nauwelijks van start was gegaan, organiseerden leerlingen een scholierenstaking, juist vanwege die overladenheid van het programma. Overladenheid van het programma is al een oud zeer. Gedurende de laatste dertig jaar is deze klacht nooit van de agenda

geweest. Kennelijk slagen opeenvolgende commissies die examenprogramma's moeten opstellen er niet in, mede onder invloed van nieuwe lobby's uit de gezondheidssector, de agrarische sector en de milieubeweging, de leerstof voldoende in te perken, ook al laten zij soms flinke stukken van de traditionele inhoud (bijv. planten bij havo) weg.

Een aspect van overladenheid is ook de hoge mate van *specificiteit* waarmee een deel van de onderwerpen, veelal vanuit traditie en niet vanuit rationele en inhoudelijke overwegingen, in eindtermen en de huidige schoolboeken worden uitgewerkt. Als bijvoorbeeld de menstruatiecyclus aan de orde is verwachten veel leraren en auteurs kennelijk van hun leerlingen dat zij de in de tekst genoemde hormonen kunnen noemen en kunnen uitleggen hoe die elkaar beïnvloeden. Voor een beslissing in het dagelijks leven over mogelijk gebruik van de pil is een zodanig gedetailleerde behandeling van de menstruatiecyclus in het geheel niet noodzakelijk.

Niet alleen de hoeveelheid leerstof, maar ook onduidelijkheid en de reikwijdte van de eindtermen, zijn van invloed op de overladenheid. Door de onduidelijkheid en ongelijke reikwijdte van de eindtermen nemen auteurs van schoolboeken het zekere voor het onzekere en kiezen voor een ruime interpretatie (Boersma, 2000c), terwijl zij bovendien de neiging hebben onberekenbare hiaten in de eindtermen te corrigeren. Sommige docenten doen daar dan nog een schepje bovenop, vanuit hun eigen opvattingen over het vak, voorkeuren, en stokpaardjes. Of zij betonen zich zo methodetrouw dat zij alles wat in het boek staat ook willen behandelen, hoewel zij daar vervolgens niet aan toekomen (Inspectie van het Onderwijs, 1999). De keuzemogelijkheden die de moderne Tweede Fase-boeken bieden worden door docenten lang niet adequaat benut.

Overladenheid is niet alleen een karakteristiek van het Nederlandse biologieonderwijs in basisvorming en de Tweede Fase, maar ook van het biologieonderwijs in het UK en de VS. Lock (1997) omschrijft het biologieprogramma in het UK als '*an overcrowded curriculum, heavy on content and light in process, combined with an assessment system that reinforces such a pattern*' (p. 83). In de VS is de geringe diepgang van het science curriculum wel vergeleken met de diepte van het Great Salt Lake in de staat Utah (Freedman, 1998).

#### *Geringe samenhang*

Een tweede probleem is de geringe samenhang in het programma (Boersma, 1997; 2000b; Roebertsen, 1996). Daarbij gaat het niet alleen om horizontale samenhang tussen structuren en processen op een zelfde organisatieniveau, zoals spijsvertering en ademhaling (Núñez & Banet, 1997), maar ook om verticale samenhang tussen structuren en processen op verschillende organisatieniveaus. Voor leerlingen is lang niet altijd duidelijk dat veel biologische thema's, zoals genetica, evolutie en spijsvertering betrekking hebben op meerdere, soms zelf vele, organisatieniveaus (Boersma, 2000a). Het gevolg daarvan is dat veel leerlingen deze onderwerpen complex en abstract vinden en allerlei onjuiste denkbeelden verwerven.

Een voorbeeld hiervan zijn de leerproblemen met betrekking tot overerving van eigenschappen. Veel leerlingen, niet alleen in Nederland, maar

wereldwijd, zo blijkt uit onderzoek, blijken hardnekkig te geloven dat tijdens het leven verworven aanpassingen overerfbaar zijn en bouwen daardoor een inadequaat inzicht op van het begrip 'natuurlijke selectie'. Recent onderzoek (Geraedts & Boersma, 2000; Hendrikse & Boersma, 1999) laat zien dat dit probleem grotendeels verholpen kan worden door leerlingen te laten zien dat er twee soorten aanpassingen zijn. In de eerste plaats aanpassing van individuen tijdens hun leven (het organismale niveau), waarvan wij, sinds Weismann's experimenten met muizen met afgehakte staarten, weten dat die niet erfelijk zijn. En in de tweede plaats aanpassingen (veranderingen) van populaties (populatie-niveau). In populaties kunnen door mutaties veranderingen in genen en DNA-moleculen ontstaan (cellulair en moleculair niveau) die tot expressie kunnen komen in vorm en/of gedrag van organismen (organismaal niveau). Sommige variaties worden weg geselecteerd (organismaal niveau, want er gaan individuen dood en geen genen) door toevallige omstandigheden, met als gevolg dat de genensamenstelling van de populatie (populatie-niveau) verandert.

Uit deze uiteenzetting over natuurlijke selectie blijkt hoe vaak biologen wisselen van organisatieniveau. Leerlingen die dat niet in de gaten hebben raken in de problemen. De wisselingen van organisatieniveau zijn vaak groter dan ook biologieleraars zich realiseren. Om dat in te zien is het binnen het kader van het voorgaande voorbeeld interessant de vraag te stellen, in hoeverre leerlingen mutaties ook niet zien als tijdens het leven verworven eigenschappen. Immers, mutaties spelen zich niet af op populatie-niveau, het betreffende gen muteert niet opeens bij alle organismen in de populatie. Een mutatie is een verschijnsel op moleculair niveau dat slechts bij één individu optreedt, waarna de mutatie zich door de populatie kan verspreiden. Zo bezien verwerft één organisme dus wel degelijk een nieuwe eigenschap. Het idee van leerlingen, dat tijdens het leven verworven eigenschappen worden doorgegeven aan het nageslacht, is dus misschien helemaal zo gek nog niet. De mogelijke begripsverwarring gaat nog verder als we dit verhaal verder vervolgen. Immers, het gemuteerde gen kan wellicht al voor het individu, waarin het muteerde, en vervolgens voor zijn of haar nakomelingen voordeel opleveren. Als dat zich uit in reproductievoordeel kan het gen zich door de populatie verspreiden. Voor biologen is dat een begrijpelijke en gangbare formulering. Maar voor de leerling blijft geheel verhuuld dat het hier in feite helemaal niet meer om dezelfde populatie gaat. De leerling kan denken dat het gemuteerde gen zich als een soort bacterie of virus door de populatie gaat verspreiden. Biologen weten dat de populatie inmiddels een aantal generaties verder is en dat van de oorspronkelijke populatie geen enkel individu meer in leven is. Toch leeft de populatie voort, gaat het om dezelfde populatie. Het begrip populatie heeft dus ook een historische dimensie.

Rekening houdend met onbekendheid en onduidelijkheid van veel van de gehanteerde begrippen voor leerlingen, spreekt het haast vanzelf dat leerlingen zich vereenzelvigen met een familie waarin door de generaties heen eigenschappen worden doorgegeven. Men kan zich de vraag stellen of leerlingen wel echt geloven in erfelijkheid van verworven eigenschappen, zoals in de literatuur beweerd wordt. Waarschijnlijk hebben leerlingen nog nooit nagedacht over de vraag of verworven eigenschappen erfelijk zijn of niet. Op het moment dat die vraag gesteld wordt geven ze een in hun ogen plausibel antwoord en maken ze gebruik van wat ze weten van erfelijkheid. Je erft van

alles van je ouders, zoals bezit, vermogen en vermogens, en verworvenheden. De begrippen 'erfelijk', 'verworven' en 'eigenschap' zijn voor hen op dat moment nog niet duidelijk en dat bepaalt dan in sterke mate hun antwoord. Dit voorbeeld laat zien hoe belangrijk, naast een goed begrip van begrippen, een goed inzicht is in organisatieniveaus en de samenhang daartussen. Om die reden wordt nu ook binnen het onderwerp genetica onderzoek gedaan naar 'jojo-leren', een leerstrategie die zich er op richt dat leerlingen de betrokken organisatieniveaus leren onderscheiden en de samenhang daartussen leren inzien (Knippels, Waarlo & Boersma, 2000).

Het tekort aan samenhang is niet alleen aan de examenprogramma's toe te schrijven. De eindtermen zijn in ieder geval in een aantal domeinen geordend. De meest gebruikte leerboeken volgen echter niet de structuur van de examenprogramma's (Kamp, 2000), maar gaan uit van een opeenvolging van biologische thema's. In het leerplan voor vwo, dat op basis van het examenprogramma is ontwikkeld (Moréllis & Timmermans, 1998), zijn de eindtermen geordend in twaalf onderwerpen en is aangegeven welke onderwerpen achtereenvolgens moeten worden aangeboden. In het leerplan ontbreken de rode lijnen die door het hele programma lopen. Daardoor heeft het weinig structuur en ligt het voor de hand dat leerlingen een programma dat zich op dit leerplan baseert, zullen zien als een verzameling losse onderwerpen, zolang de horizontale en verticale samenhang niet verder is uitgewerkt.

#### *Relevantie voor leerlingen*

Een derde knelpunt is de geringe relevantie die het programma voor veel leerlingen heeft. Enerzijds is dat mede een gevolg van de overladenheid en het gebrek aan samenhang in het programma, maar anderzijds is het naar onze mening ook een gevolg van de leerstofkeuze. Een deel van het programma (kijk bijvoorbeeld naar de overmaat aan moleculaire biologie) is voor veel leerlingen niet interessant, noch begrijpelijk, noch van enig nut in het dagelijks leven en derhalve niet relevant. Wat kan een leerling die niet weet wat een aminozuur is met de wetenschap dat de DNA-basen-trits adenine-thymine-cytosine ervoor codeert?

Om te beoordelen of inhouden van het biologieprogramma relevant voor hen zijn, moeten leerlingen op die inhouden kunnen reflecteren, en ze kunnen verbinden met voor hen relevante contexten. In een overladen programma krijgen ze daar de kans en de tijd niet voor. Daar komt bij dat een deel van de leraren het nut daarvan nauwelijks inziet, ook al besteden de nieuwe Tweede Fase-methoden daar veel aandacht aan. Als gevolg daarvan wordt leerlingen de kans ontnomen om zelf te zien of te ervaren of en hoe betekenisvol specifieke biologische inhouden en beroepsmatige toepassingen voor hen kunnen zijn. Veel onderwerpen worden door leraren, en in de meer traditionele methoden, nog altijd gedecontextualiseerd, dus als pure biologie, aangeboden en behandeld. En als leerlingen al vragen waarom zij dit moeten leren, dan nemen teveel leraren hun toevlucht tot de verklaring dat het nu eenmaal in de exameneisen staat.

De gedachte aan contextualisering is overigens niet van de laatste tijd. In de zeventiger jaren hield Bijl (1970) daar in ons land al een pleidooi voor, met

name voor het basisonderwijs, en in Duitsland maakte het boek van Robinsohn (1975) enige opgang.

Toch lijkt de invoering van contexten een moeizame zaak. Voor de huidige eindtermen voor de Tweede Fase en de basisvorming is die in ieder geval niet geslaagd. Verondersteld kan worden dat biologen, leraren en wetenschappers contexten wel aardig vinden, maar dat bij hen de angst overheerst dat bij het prioriteit geven aan de keuze van contexten de vakstructuur in het gedrang zal komen. En een heldere vakstructuur is een vereiste voor een goed leerplan, al hoeven contexten en vakstructuur elkaar niet uit te sluiten.

Een punt van belang is voorts dat over het begrip 'context' veel onduidelijkheid bestaat, onder meer doordat het begrip meerdere betekenissen heeft (Van Oers, 1998) en het niet altijd duidelijk is welke betekenis wordt bedoeld. De betekenis van contexten en de gevolgen van contextkeuze zijn voor veel leraren en auteurs van methoden echter onduidelijk. Het laatste voorstel voor de huidige examenprogramma's voor havo/vwo (SLO, 1995) geeft daarover evenmin duidelijkheid. In dat voorstel worden contexten opgevat als maatschappelijke situaties of sectoren. Daarnaast wordt ook gesproken over 'contextgebieden'. Wat is het verschil tussen een context en een contextgebied? Voorts doet zich het curieuze verschijnsel voor dat voor havo en vwo, zonder nadere toelichting verschillende contextgebieden worden opgesomd. Eindtermen zijn in het voorstel niet geordend binnen contexten of contextgebieden, maar vanuit een poging tot een nieuwe definiëring van een vakstructuur. Die poging lijkt weinig geslaagd. Erger is echter dat er door geïllustreerd wordt dat niet contexten, maar de inhoud van de eindtermen voor maatschappelijke relevantie moeten zorgen. Noch voor de eindtermen voor havo/vwo, noch voor de kerndoelen voor de basisvorming komen is uitgewerkt dat vanuit relevante contexten gezocht is naar betekenisvolle biologische vakinhoud. Daarbij moet worden erkend dat kennis over wat werkelijk relevant is voor leerlingen nauwelijks beschikbaar is. Welke biologische kennis nu echt functioneel is binnen contexten die voor leerlingen belangrijk zijn is in Nederland nooit onderzocht. Het is dan ook geen verrassing dat de huidige selectie van vakinhoud veel leerlingen niet of nauwelijks kan motiveren.

Het tekort aan relevantie voor leerlingen is opnieuw geen uniek Nederlands probleem. Internationaal wordt de noodzaak tot contextualisering sterk benadrukt (zie bijv. Black & Atkin, 1996; Reiss, Millar & Osborne, 1999).

#### *Ontbreken van aansluiting*

Het vierde knelpunt in het biologieonderwijs is het ontbreken van aansluiting tussen de opeenvolgende fasen van de schoolloopbaan van de leerling: tussen basisschool en basisvorming en tussen basisvorming en Tweede Fase. Dit knelpunt is al oud en wordt nauwelijks als oplosbaar gezien. Door het ontbreken van aansluiting worden soms dingen dubbel gedaan en sommige dingen ook helemaal niet. Leraren hebben geen enkel inzicht in wat er in het voorafgaande onderwijs door leerlingen is gedaan. Meestal kiezen zij er voor opnieuw te beginnen, op het voor hen relevante niveau. Dat geldt ook voor de kloof tussen basisvorming en Tweede Fase, die zich toch binnen hun eigen observatieruimte, de eigen school, afspeelt. Onder meer vanwege het feit dat in de derde klas meestal geen biologie wordt gegeven gaan leraren en methoden er impliciet van uit dat leerlingen alles wat ze in de eerste twee

klassen geleerd hebben weer vergeten zijn. En dus krijgen leerlingen zowel in de brugklas als in de vierde klas de onderdelen van de microscoop, regels hoe ze moeten tekenen, regels hoe ze een onderzoekje moeten doen en worden veel leerstofonderdelen die ze in de onderbouw al gehad hebben nog eens overgedaan. Het gevolg daarvan is dat ook leerlingen eerder denken dat het over iets anders gaat dan over uitdieping van hetzelfde. Methoden zouden een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan deze aansluiting, bijvoorbeeld door aan het begin van elk hoofdstuk opdrachten op te nemen die de voorkennis oproepen, of door te beginnen met een korte opsomming van wat vroeger al is geleerd of wat bekend wordt verondersteld.

We signaleren overigens wel dat onder invloed van de Tweede Fase leraren meer aandacht beginnen te besteden aan de basisvorming, en dat ze zich realiseren dat leerlingen daar veel dingen kunnen leren die ze in de Tweede Fase kunnen toepassen.

Groter nog is de kloof tussen basisvorming en basisschool. Brugklasleraren weten niet wat leerlingen op de basisschool gehad hebben, of gehad zouden moeten hebben en onderzoeken dat ook niet. Zeker in de brugklas beginnen leraren weer van voren af aan. Wat leerlingen op de basisschool hebben gedaan loopt sterk uiteen en kan variëren van bijna niets tot een programma van gemiddeld een uur per week gedurende acht jaar. Een onderzoek van de Inspectie voor het Onderwijs in 1993 (Inspectie van het Onderwijs, 1993) liet zien dat ongeveer een derde van de leerkrachten aan de eisen van het toen verplichte programma voldoet, dat een derde helemaal niets aan natuuronderwijs doet, terwijl de resterende eenderde zich tussen beide uitersten in bevindt. Met zulke grote verschillen tussen leerlingen in dezelfde klas kunnen brugklasleraren niet uit de voeten.

Verondersteld zou kunnen worden dat de overladenheid in de volgende fasen van het onderwijs samenhangt met deze gebrekkige aansluiting. Als de aansluiting tussen basisschool en basisvorming wordt verbeterd, kan er ook efficiënter met de tijd worden omgesprongen. Maar ook het gebrek aan samenhang en het gebrek aan relevantie kunnen aan het gebrek aan aansluiting gerelateerd worden. Gebrek aan aansluiting tussen de potentiële 240 uur (8 jaar 1 uur per week, gedurende 30 weken) in de basisschool, de 140 uur (2 jaar 2 uur per week, gedurende 35 weken) in de basisvorming en de 160 (4 uren gedurende 40 weken) uur voor vwo B1 tot 480 uur (voor vwo B1+2) in de Tweede Fase, is natuurlijk ook een gebrek aan longitudinale samenhang. Als leerlingen in 4 vwo of havo nog dingen moeten inhalen die ze in de brugklas nog de moeite waard vonden, maar nu niet meer, dan is het geen wonder dat ze die leerstof niet relevant (meer) vinden. Ook het omgekeerde kan het geval zijn. In de vierde klas kunnen leerlingen nog geen of slechts weinig betekenis toekennen aan aminozuren, peptiden, nucleïne-zuren en basen zolang ze daar door adequaat scheikundeonderwijs niet op zijn voorbereid. (Siefkens, Rippl & Schermer, 2001). Hetzelfde probleem doet zich voor bij het plotseling opduiken van kansrekening bij genetica, een onderwerp dat daarvoor bij wiskunde in de basisvorming nog niet aan de orde is geweest. De aansluitingproblemen beperken zich dus niet tot de aansluiting binnen het biologieprogramma, maar hebben ook betrekking op de aansluiting van de biologie op de andere natuurwetenschappelijke vakken en de wiskunde.

#### 4. Naar nieuw biologieonderwijs.

We hebben gezien dat zich in het huidige biologieonderwijs de volgende vier problemen voordoen: overladenheid, geringe samenhang, relevantie voor leerlingen en het ontbreken van aansluiting. Naar onze mening is het niet verstandig om de vier problemen onafhankelijk van elkaar aan te pakken. Daarvoor hebben we twee argumenten.

Tabel 1. Oorzaken van de vier besproken problemen van het biologieprogramma voor ieder van de drie genoemde curriculaire verschijningsvormen. De belangrijkste actoren zijn vermeld.

	<i>Geschreven curriculum op macroniveau (leerplan)</i> Actoren: commissies voor ontwikkeling van kerndoelen en eindtermen	<i>Geschreven curriculum op microniveau (lesmateriaal)</i> Actoren: schrijvers van methoden en hun uitgevers	<i>Uitgevoerde curriculum in de klas</i> Actoren: leraren
Overladenheid	Het leerplan omvat te veel kerndoelen-/eindtermen; het leerplan is in onvoldoende mate empirisch getoetst.	De methoden bieden een ruime interpretatie van de regelgeving, vertrouwde onderwerpen die niet zijn voorgeschreven zijn toegevoegd.	Leraren gebruiken hun methode als leergang en selecteren te weinig wat aan de orde moet komen en wat kan worden geschrapt.
Geringe samenhang	Het leerplan omvat alleen kerndoelen of eindtermen in een niet nader toegelichte structuur.	Horizontale en verticale samenhang is te weinig uitgewerkt; de methode bestaat te veel uit geïsoleerde hoofdstukken; sleutelbegrippen worden te weinig onderscheiden.	Leraren werken de horizontale en verticale samenhang te weinig uit; ze geven onvoldoende aandacht aan sleutelbegrippen.
Relevantie voor leerlingen	Onderwerpen van het leerplan zijn niet allemaal relevant; contexten zijn niet voorgeschreven.	Onderwerpen worden veelal los van een voor leerlingen relevante context uitgewerkt; het begrip context is veelal onduidelijk.	Leraren verbinden de leerstof te weinig met relevante contexten; leerlingen hebben te weinig ruimte om de relevantie te exploreren; het begrip context is veelal onduidelijk.
Ontbreken van aansluiting	Leerplannen zijn niet gebaseerd op leerlijnen en sluiten daardoor onvoldoende op elkaar aan.	Lesmateriaal wordt niet opgevat als uitwerking van leerlijnen.	Leraren zijn onvoldoende geïnformeerd over het aanbod in de vooropleiding en beginnen opnieuw; ze sluiten te weinig expliciet aan bij wat al aan de orde is geweest.



In de eerste plaats constateren we dat alle vier de problemen zich manifesteren in het programma zoals dat feitelijk aan leerlingen wordt aangeboden, het uitgevoerde curriculum (Van den Akker, 1988; Kuiper, 1994), maar dat de oorzaken daarvan ten minste voor een deel worden of kunnen worden toegeschreven aan het gebruikte lesmateriaal en/of de regelgeving. In tabel 1 zijn voor deze drie curriculaire verschijningsvormen de oorzaken voor de hiervoor beschreven problemen samengevat.

De tabel laat zien dat oorzaken voor de vier besproken problemen zowel kunnen worden toegeschreven aan het leerplan, als aan de gebruikte methoden, als aan leraren die te getrouw hun methode gebruiken (Inspectie van het Onderwijs, 1999). De conclusie is dan ook dat de vier problemen meerdere oorzaken hebben en als systeemprobleem moeten worden gezien (Boersma, 2000c). Om de problemen te verhelpen zal aan alle bij het biologieonderwijs betrokken actoren gevraagd moeten worden een bijdrage te leveren. Enkelvoudige oplossingen voor een van de vier problemen volstaan niet.

In de tweede plaats moet worden ingezien dat de gesignaleerde problemen nauw verbonden zijn met de gewijzigde opvattingen over leren en over wat relevant gevonden wordt dat leerlingen leren. Met name de huidige generatie examenprogramma's stamt uit de periode dat een overdrachtsopvatting nog zonder problemen werd geaccepteerd. De afgelopen tien jaar hebben we geleidelijk aan leren zien dat memoriseren veelal weinig relevant is, dat overdracht alleen niet werkt en dat leerlingen de kans moeten hebben zelf betekenisvolle, contextgebonden, kennis te construeren.

Bij de invoering van de basisvorming en het studiehuis werd weliswaar verwezen naar constructivistische opvattingen over leren, maar is verzuimd de regelgeving aan te passen aan de sindsdien gewijzigde opvattingen over leren. Momenteel is er dan ook sprake van een inconsistent onderwijsstelsel, met een studiehuis waarin enerzijds (in ieder geval volgens de beleidsmakers) ruimte is voor constructivistische opvattingen over leren, maar waarin anderzijds de examenprogramma's, en ten dele ook de gebruikte methoden, nog uitgaan van een opvatting over leren waar nu afstand van wordt genomen. Het is dus geen wonder dat in leerplannen en methoden te veel aangetroffen wordt en te veel waarvan de vraag is wat daarvan de relevantie voor leerlingen is.

Als we de knelpunten in het biologieonderwijs vanuit dit perspectief bezien zal het duidelijk zijn dat oplossingen alleen het gewenste effect kunnen hebben als we accepteren dat leerlingen noodzakelijkerwijs hun eigen kennis construeren en dat we met het biologieonderwijs daar op moeten aansluiten.

Beide argumenten pleiten er voor om geen maatregelen op korte termijn te nemen, zonder dat die ingepast kunnen worden in een ruimer perspectief. Als een consistent eindpunt, een visie, omschreven wordt waar het biologieonderwijs zich op zou kunnen richten, en als daar voldoende overeenstemming over is, dan kunnen iedere keer als de mogelijkheid zich voordoet, maatregelen genomen worden die een bijdrage leveren aan de realisering daarvan. Om de gesignaleerde problemen te kunnen oplossen, is

het dus noodzakelijk eerst een ontwerp voor het toekomstige biologieonderwijs te maken.

Een belangrijke voorwaarde voor het maken van een dergelijk ontwerp is dat het onder verantwoordelijkheid van één commissie valt en niet, zoals tot op heden, door drie commissies die grotendeels onafhankelijk van elkaar werken. Alleen dan kan een consistent programma worden ontworpen en kan vanuit één visie met het veld en de overheid worden gecommuniceerd. De Commissie voor Historische en Maatschappelijke Vorming (2001) heeft onlangs voor geschiedenis en maatschappijleer laten zien dat op basis van een consistente visie op het vak leerplannen voor de verschillende sectoren van ons onderwijs kunnen worden geformuleerd. Van de Commissie Modernisering Leerplan Biologie, die van 1971 tot en met 1978 haar werk deed, hebben we kunnen leren dat, ook al is er één commissie die de drie fasen van het onderwijs bestrijkt, dat niet op voorhand betekent dat er ook een samenhangend leerplan wordt ontworpen. De visie op het biologie-onderwijs zal mede gebaseerd moeten zijn op een visie op de biologie en de plaats van de biologie in onze samenleving. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van het rapport '*Biologie: het leven centraal*' (KNAW, 1997).

Als een visie voor nieuw biologieonderwijs is ontwikkeld, is het noodzakelijk dat die visie breed wordt gelegitimeerd en dat docenten, vakdidactici en andere deskundigen de uitwerking daarvan gezamenlijk ter hand nemen. De vernieuwing moet gedragen worden door het veld en ontwikkeld worden binnen bestaande scholen. Pas nadat het nieuwe biologieonderwijs in praktijken is ontwikkeld dient het in de regelgeving te worden vastgelegd. Bij de ontwikkeling kunnen aan universiteiten verbonden biologen borg staan voor de vakinhoudelijke kwaliteit en kunnen vakdidactische en onderwijskundige onderzoekers het voor de vernieuwing noodzakelijke onderzoek in uitvoering nemen. Naar het zich laat aanzien zal het om een aanzienlijke vakinhoudelijke en didactische vernieuwing gaan.

De ervaring in Nederland leert, dat als het om een aanzienlijke inhoudelijke en didactische vernieuwing gaat, en daar gaat het om als oplossingen voor de gesignaleerde problemen moeten worden uitgewerkt, het verstandig is om rekening te houden met een tamelijk lange periode voor ontwikkeling en invoering. Ten aanzien van de basisvorming, zien we dat de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid in 1986 (WRR, 1986) een advies uitbracht voor de invoering ervan, en dat in 1998, dus 12 jaar later, de onderwijsinspectie concludeert de invoering nog niet erg ver gevorderd is (Inspectie van het Onderwijs, 1998). Veel van wat we nu voor biologie in de basisvorming aantreffen, is terug te voeren op een in 1978, dus 20 jaar eerder, door de ACLO-biologie geformuleerde visie op het biologieonderwijs. De ervaring leert dat we voor de weg van idee tot dagelijkse praktijk in de klas minstens 20 jaar moeten rekenen.

Het is gewenst dat op korte termijn een commissie wordt samengesteld die de opdracht krijgt, of verwerft om – net als in 1967 (Biologische Raad, 1967) – een visie op biologie in het onderwijs aan 4 tot 18 jarigen te ontwerpen. In de visie moet worden uitgewerkt welke doelstellingen voor leerlingen betekenisvol zijn en of deze doelstellingen in het onderwijs kunnen worden gerealiseerd.

In het tweede deel van dit artikel doen we enkele voorstellen met betrekking tot de onderwerpen die voor een visie op het biologieonderwijs en de ontwikkeling van een samenhangend programma van belang zijn. In par.5 doen we, om de discussie op gang te brengen, een voorstel voor doelstellingen. Daarna zetten we in par.6 een eerste beeld neer van een visie op de biologie. Tot slot geven we in par. 7 enkele redenering die kunnen helpen bij het ontwikkelen van een samenhangend biologieprogramma voor 4- tot 18-jarigen.

### **5. Doelstellingen voor het biologieonderwijs**

Bij de invoering van de basisvorming en met name bij de invoering van het studiehuis hebben politici en anderen beargumenteerd dat leerlingen niet meer kunnen volstaan met het verwerven van kennis. Veel kennis veroudert snel, maar er is ook veel stabiele kennis, die niet veroudert en tot het basisrepertoire van een 'ontwikkeld' burger behoort. Leerlingen moeten echter voorbereid worden op levenslang leren en daarvoor moeten ze vooral meer vaardigheden leren. Met de laatste revisie van de examenprogramma's hebben we inderdaad gezien dat allerlei algemene vaardigheden aan de specifieke eindtermen voor biologie zijn toegevoegd. Dezelfde redenering is gehanteerd bij de laatste revisie van de kerndoelen.

Kernpunt in deze redenering is dat leerlingen op school een soort startcompetentie moeten verwerven om verder te leren. Bij verder leren moeten we zeker niet alleen denken aan leren in vervolgoopleidingen, maar vooral ook aan leren in buitenschoolse contexten, waaronder in toenemende mate het individueel en in groepsverband leren in ICT-leeromgevingen. In buitenschoolse contexten komen we in aanraking met een grote verscheidenheid van biologische onderwerpen op het gebied van voedsel, landbouw, gezondheid, natuur en milieu. Het ligt dan ook voor de hand dat in doelstellingen voor het biologieonderwijs met name tot uitdrukking komt dat biologie binnen deze contexten moet worden aangeboden. Ook in het advies voor de huidige examenprogramma's havo/vwo (SLO, 1995) is de relatie met deze contexten gelegd. De ervaring leert dat we daarmee echter niet kunnen volstaan. Enerzijds moeten we ons realiseren dat het niet vanzelfsprekend is dat wat leerlingen op school leren buiten school nog betekenis voor hen heeft. Transfer van de ene context naar de andere is nu eenmaal een groot probleem. We weten inmiddels dat kennis en vaardigheden contextspecifiek kunnen zijn en dat de betekenis die kennis en vaardigheden hebben sterk door de context kunnen worden bepaald (zie bijv. Henessy et al., 1993). Het begrip 'functie' betekent in het bedrijfsleven heel iets anders dan in de biologie of bij het weergeven van wiskundige relaties. Het is het dus goed te begrijpen dat veel leerlingen wat ze op school leren niet vanzelf toepassen in andere contexten. In feite moeten ze leren dat betekenissen contextspecifiek kunnen zijn en dat ze wat ze hebben geleerd moeten contextualiseren om er wat aan te hebben (Van Oers, 1998; Van Weelie, 2000).

Nu zouden we het rendement van het biologieonderwijs voor leerlingen sterk kunnen vergroten als we duidelijk zouden kunnen zijn over de contexten waarnaar ze zouden moeten contextualiseren. We moeten echter constateren dat de relatie tussen contexten en kennis en vaardigheden niet op voorhand duidelijk is. Te vaak zien we dat contexten gekozen worden om het leren te

vergemakkelijken en te weinig zien we dat kennis en vaardigheden gekozen worden op grond van hun relevantie binnen specifieke contexten. Naar onze mening is het gewenst dat we eerst contexten bepalen die voor leerlingen relevant zijn om vervolgens uit te werken welke biologische vakinhoud daarbinnen relevant is, zeker voor de basisschool. De context moet in eerste instantie bepalen wat de relevante vakinhoud is. Als we dat doen kunnen we voor leerlingen relevante contextspecifieke gehelen van kennis en vaardigheden definiëren. In beroepspraktijken is het inmiddels gebruikelijk om dergelijke gehelen aan te duiden als competenties en in het beroepsonderwijs worden de doelstellingen van opleidingen in toenemende mate als competenties omschreven.

Onder een competentie verstaan we een handelingsrepertoire (vgl. De Groot, 1978) dat functioneel is in een of meer praktijken uit het dagelijks leven, beroep, of studie. Het woord praktijk geeft goed weer waar het om gaat. In een beroepspraktijk is het om goed te kunnen functioneren noodzakelijk datgene te weten en kunnen dat binnen die praktijk van belang is. Bovendien wordt van deelnemers aan die praktijk verwacht dat ze zich aan de mores van het beroep houden. Een competentie is een binnen een praktijk functioneel handelingsrepertoire, waarbinnen specifieke kennis, vaardigheden, waarden en attitudes betekenis hebben (Thijssen, 1998; Van der Maesen de Sombreff & Schakel, 1999). Een competentie is dus iets anders dan een context. Een context verwijst naar een praktijk waarbinnen kennis en vaardigheden functioneel worden gebruikt, een competentie is het functionele geheel.

Als geaccepteerd wordt dat praktijken in eerste instantie bepalen wat relevant is, kan niet meer primair vanuit de biologie als wetenschap worden geredeneerd, al zal er uiteraard voor gezorgd moeten worden dat leerlingen een samenhangende 'body of knowledge' kunnen ontwikkelen. Als eerst de gewenste competenties worden vastgesteld kan pas daarna de vraag worden beantwoord welke bijdrage het vak biologie aan het verwerven van deze competenties kan leveren. Aan het verwerven van sommige competenties kan door meerdere vakken, waaronder biologie, worden bijgedragen, aan het verwerven van andere competenties zal echter met name of zelfs uitsluitend door biologie worden bijgedragen. Competenties zijn dan ook in meerdere of mindere mate specifiek voor het vak biologie. Het ligt voor de hand dat het biologieonderwijs zich dan zal richten op die competenties waaraan een substantiële bijdrage kan worden geleverd. We illustreren de karakteristieken van competenties aan de hand van het volgende voorbeeld.

- *De leerlingen moeten zich een gefundeerde mening vormen over in de samenleving maatschappelijk relevante vraagstukken en de ethische kwesties die daarmee zijn verbonden; zij moeten kunnen deelnemen aan discussies over deze onderwerpen.*

Het vak biologie kan een belangrijke bijdrage aan deze competentie leveren als de competentie wordt verbijzonderd tot een aantal biologische thema's als klonering en genetische transformatie. Als het biologie-onderwijs zich zou richten op de ontwikkeling van deze competentie, zou het om de volgende operationele doelstellingen kunnen gaan:

- Omschrijven wat klonering is (*kennis*)
- Voor- en nadelen (risico's) van klonering kunnen noemen (*kennis*)
- Verschillende opvattingen over klonering kunnen noemen (*kennis*)
- Wegen van verschillende opvattingen (*waarden*)
- Eigen standpunt verwoorden en beargumenteren (*vaardigheid*)
- Gevolgen van het eigen standpunt kunnen overzien (*kennis*)
- Het eigen gedrag in overeenstemming brengen met het ingenomen standpunt (*gedrag; attitude*)
- Het ingenomen standpunt en eigen gedrag herzien (*waarden; gedrag; attitude*)
- Mondeling en schriftelijk communiceren over het eigen standpunt (*vaardigheid; gedrag; attitude*)

De betekenis van deze operationele doelstellingen afzonderlijk ligt met name in de mate waarin daarmee de competentie wordt gerealiseerd. Het toetsen van de kennis als zodanig geeft dan ook geen goed beeld van de mate waarin de competentie is ontwikkeld. Een beter beeld daarvan krijgen we als leerlingen daarover communiceren. Een beoordeling van hun presentatie kunnen we in een dossier opnemen.

In tabel 2 geven we een opsomming van mogelijke competenties waar het biologieonderwijs zich in 2020 op zou kunnen richten. Daarbij is er van uitgegaan dat voor havo/vwo naast de algemeen vormende functie ook de doorstroomfunctie van belang is.

Tabel 2. Mogelijke vakcompetenties voor biologie of algemene competenties waaraan door biologie een bijdrage kan worden geleverd. Voor iedere competentie is aangegeven of bijgedragen wordt aan de algemeen vormende (AV) en/of de doorstroomfunctie (D)

Competenties	
1.	Voorzien in de eigen primaire levensbehoeften. (AV)
2.	Gezondheid en welzijn van medemensen bevorderen en bijdragen aan een duurzame samenleving. (AV)
3.	Zorgen voor planten en dieren. (AV)
4.	Biologische informatie structureren en biologische kennis genereren met behulp van biologische basiskennis (biologisch denken). (AV; D)
5.	Een mening vormen over in de samenleving maatschappelijk relevante vraagstukken en de ethische kwesties die daarmee zijn verbonden, en deelnemen aan discussies daarover. (AV)
6.	Kunnen communiceren met artsen, paramedici, hulpverleners en autonome beslissingen kunnen nemen over de eigen gezondheid. (AV)
7.	Oriënteren op de beroepspraktijken waarin gebruik wordt gemaakt van biologische kennis en waarin biologische kennis wordt ontwikkeld en de daarop toegesneden beroepsopleidingen en wetenschappelijke opleidingen. (D)
8.	Oriënteren op de aard, inhoud en werkwijzen van natuurwetenschappelijk (biologisch) onderzoek. (D)

De competenties 1, 2 en 3 kunnen met name in de basisvorming worden gerealiseerd. Ook het vak Verzorging draagt bij aan de realisering van deze competenties. De competenties 4, 5 en 6 richten zich op het verwerven van 'scientific literacy'. Mensen moeten zich een mening kunnen vormen over relevante maatschappelijke vraagstukken, bijvoorbeeld door de krant te lezen. In competentie 4 is de biologische component waarnaar verwezen wordt nader aangeduid. In de competenties 5 en 6 wordt de biologische component toegepast en verdiept binnen maatschappelijk gedefinieerde contexten. De competenties 7 en 8 zijn vooral van belang voor doorstroming naar het HBO en WO. Competentie 8 richt zich op de manier waarop biologisch onderzoek bijdraagt aan ontwikkeling van biologische kennis. Om een keuze voor een vervolgopleiding te kunnen maken is het van belang dat leerlingen daar een goed beeld van hebben. Het is wat ons betreft niet de bedoeling dat leerlingen leren onderzoeken, al zal enige ervaring met biologisch onderzoek wel bijdragen aan hun beeldvorming. De competentie 'onderzoek kunnen doen' is zelfs voor havo en vwo te hoog gegrepen en heeft te weinig algemeen vormende betekenis (Boersma, 2000a; Stokking & Van der Schaaf, 2000). Op het belang van kennis van de werkwijzen die in biologisch onderzoek worden gehanteerd komen we zo terug.

#### **6. Een visie op de biologie**

Een van de hierboven voorgestelde competenties is aangeduid met biologisch denken. Hierin komt de visie op de biologie tot uitdrukking. Onder biologisch denken verstaan we de denkwijzen die biologen bij hun onderzoek, veelal impliciet, hanteren. Biologisch denken is echter niet alleen betekenisvol voor biologen, maar voor iedereen die met een biologisch probleem of biologische informatie van doen heeft. Het gaat er om dat mensen leren redeneren *als of* ze bioloog zijn (Van Weelie, 2001).

Een omschrijving van wat we onder biologisch denken kunnen verstaan ontleen we aan een rapport van de Biologische Raad (KNAW, 1997). Daarin wordt uiteengezet dat biologisch onderzoek zich richt op de bouw en functie van organismen, hun ontstaanswijze en de relatie tussen organismen en hun levende (biotische) en dode (abiotische) omgeving. Tot betrekkelijk kort geleden was het gebruikelijk om een onderscheid te maken tussen onderzoek op moleculair, het cellulair, organismaal en populatieniveau, het niveau van de levensgemeenschap en het ecosysteemniveau. Tegenwoordig worden biologische problemen in toenemende mate geïntegreerd bestudeerd door meerdere organisatieniveaus in het onderzoek te betrekken.

Op grond van deze omschrijving kunnen we binnen biologisch denken de volgende drie, nauw met elkaar verbonden, denkwijzen onderscheiden:

- Vorm-functie denken, waarin de wederzijdse afhankelijkheid van vorm en functie op verschillende organisatieniveaus aan de orde wordt gesteld. Vorm-functie denken is de kern van het zogenaamde adaptivistische programma binnen de evolutie (Dennett, 1995; Mayr, 1983; Williams, 1997)
- Systeemdenken, waarbij biologische objecten op verschillende organisatieniveaus als open systemen worden gezien die zich door regulatie in stand houden (Von Bertalanffy, 1968; Koestler, 1978). De ontwikkeling en evolutie van biologische systemen kan met behulp van

dynamische systeemtheorie worden verklaard (Jantsch, 1980; Thelen & Smith, 1994).

- Evolutionair denken, waarbij het ontstaan en de ontwikkeling van het leven wordt beschreven en verklaard en waarbij biologische objecten op verschillende organisatieniveaus als zichzelf organiserende organische structuren worden gezien (Darwin, 1859; Kauffman, 1996; Maturana & Varela, 1989).

Naast deze drie denkwijzen is het uit het oogpunt van biologisch denken van belang dat we inzicht hebben in de manier waarop biologische kennis wordt gegenereerd. Dat kan alleen als we aandacht schenken aan de werkwijzen die kenmerkend zijn voor biologisch onderzoek. Het gaat dan om:

- empirisch –analytische benaderingen, waarbij door experimenteel onderzoek verklaringen worden gezocht in de manier waarop delen van het systeem elkaar beïnvloeden, en om
- integrale benaderingen waarbij de ontwikkeling van biologische objecten wordt beschreven (Rose, 1997) en verklaringen niet experimenteel, maar achteraf worden gegeven (Mayr, 1997).

Bij biologisch denken zoals we dat hier hebben omschreven gaat het om redeneringen en werkwijzen die kenmerkend zijn voor de manier waarop biologische problemen worden aangepakt. Willen leerlingen leren biologisch denken, dan is het noodzakelijk dat zij over de daarvoor noodzakelijke kennis beschikken en dat zij die kennis wendbaar kunnen gebruiken. De kennis die daarvoor noodzakelijk is bestaat uit sleutelbegrippen (Kamp & Boersma, 2001). Sleutelbegrippen vormen de ankerpunten voor de biologische component van competenties waar biologie een relevante bijdrage aan kan leveren (Kamp, 2000). De sleutelbegrippen bieden ieder voor zich en gezamenlijk een perspectief van waar uit naar biologische objecten en verschijnselen kan worden gekeken. Sleutelbegrippen hebben een hoge mate van generaliseerbaarheid en kunnen fungeren als kiemen voor de ontwikkeling van nieuwe kennis. In tabel 3 geven we een indicatie van de sleutelbegrippen die van belang zijn voor biologisch denken.

Tabel 3 . Sleutelbegrippen die relevant zijn voor biologisch denken.

<i>Empirische begrippen</i>	<i>Theoretische begrippen</i>
<p><b>plant - dier – mens (organisme)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vorm en functie</li> <li>• verscheidenheid</li> <li>• stofwisseling</li> <li>• voortplanting en erfelijkheid</li> <li>• gedrag</li> <li>• ontwikkeling</li> <li>• evolutie</li> <li>• interactie met milieu</li> <li>• gezondheid en ziekte</li> <li>• cel</li> </ul>	<p><b>(open) systeem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• organisatieniveaus (biosfeer, ecosysteem, organisme, orgaan, cel, celorganel) en hun onderlinge relaties)</li> <li>• oorzaken van gedrag</li> <li>• (stof)kringloop, energiestroom</li> <li>• terugkoppeling (regulatie, homeostase)</li> <li>• ontwikkeling</li> <li>• evolutie</li> </ul>

### 7. Een biologieprogramma voor 4- tot 18-jarigen.

De hiervoor voorgestelde competenties en sleutelbegrippen moeten worden uitgewerkt tot een samenhangend biologieprogramma voor 4 tot 18 jarigen. Voor sommige competenties kan aan het einde van de basisvorming een startcompetentie worden behaald, voor andere kan dat pas aan het einde van de schoolloopbaan. Het zelfde geldt voor de met de competenties verbonden sleutelbegrippen. Van belang is daarbij rekening te houden met het moment waarop gebruik gemaakt kan worden van voor biologie belangrijke inhoud die bij de vakken scheikunde, natuurkunde en wiskunde worden aangeboden.

Voor een programma dat zich richt op de ontwikkeling van competenties waarbij sleutelbegrippen een belangrijke rol spelen, is het noodzakelijk een onderscheid te maken tussen disciplinaire en thematische programmaonderdelen. Het programma bestaat dan uit een afwisseling van die programmaonderdelen. We verduidelijken dat aan de hand van leren systeemdenken.

In disciplinaire programmaonderdelen ontwikkelen de leerlingen de sleutelbegrippen, als voorbereiding op de ontwikkeling van de competenties. Omdat de voor leren systeemdenken vereiste sleutelbegrippen abstract en theoretisch zijn, is het noodzakelijk dat leerlingen ze zorgvuldig en systematisch ontwikkelen. Uit onderzoek weten we dat het in dergelijke gevallen gewenst is uit te gaan van leerstrategieën die zich baseren op geleide herontdekking, zoals probleemstellend leren (Klaassen, 1995; Kortland, 2001; Vollebregt, 1998). Om geleide herontdekking effectief te kunnen laten verlopen is een zorgvuldige begeleiding door de docent en gebruik van daarop toegesneden leermateriaal vereist. Omdat we te maken hebben met systeembegrippen die deel uit maken van verschillende systeemtheorieën (Boersma, 1997), ligt het voor de hand om de systeembegrippen in meerdere disciplinaire programmaonderdelen aan te leren. In de thematische programmaonderdelen gebruiken de leerlingen de sleutelbegrippen en ontwikkelen zij de competentie biologisch denken. Leerlingen kunnen dat voor een groot deel zelfstandig, individueel of in groepen, doen. In veel gevallen kunnen ze daarbij gebruik maken van handboeken of internet. Als thema's kunnen we denken aan onderwerpen als vissterfte, het menselijk genoom, het ontwerpen van een ecosysteem, het ontwerpen van het immuunsysteem (Janssen, 1999), duurzame ontwikkeling, biodiversiteit (Van Weelie et al., 2000) en het uitsterven van soorten.

Tabel 4. Typering van het biologieprogramma in verschillende sectoren van het onderwijs.

	basisonderwijs	Basisvorming; vmbo (beroepsgerichte leerwegen)	vmbo (theoretische leerweg), havo en vwo
Type kennis	empirische kennis	empirische kennis	empirische en theoretische kennis
Organisatieniveau	organismaal niveau, inclusief auto-ecologische	organismaal niveau, inclusief auto-ecologische	alle systeemniveaus



	aspecten; eventueel het niveau van levensgemeenschap	aspecten, en niveau van levensgemeenschap	
Gerichtheid	objectgericht	contextgericht	contextgericht
Biologisch denken	vorm - functie denken	vorm – functie denken; evolutionair denken	vorm - functie denken; evolutionair denken; systeemdenken

Het ligt voor de hand dat de definiëring en uitwerking van disciplinaire en thematische programmaonderdelen sterk bepaald wordt door wat binnen respectievelijk het basisonderwijs, basisvorming, vmbo en havo/vwo van leerlingen kan worden gevraagd. In tabel 4 geven we een eerste typering van het biologieprogramma in het basisonderwijs, de basisvorming (en de beroepsgerichte leerwegen van het vmbo) en havo/vwo (en de theoretische leerweg van het vmbo). De karakterisering sluit aan bij wat uit onderzoek en ervaring bekend is over ervaring en belangstelling van leerlingen binnen die sectoren. Bij de karakterisering maken we gebruik van vier criteria.

In de eerste plaats maken we, onder meer in navolging van Davydov (1984), een onderscheid tussen empirische kennis en theoretische kennis. Empirische kennis heeft betrekking op waarneembare objecten. Door generalisatie (inductie) en formulering van wetmatigheden kan abstracte algemene kennis worden gegeneraliseerd. Theoretische kennis kan niet door inductie tot stand komen. Theorie wordt ontwikkeld op grond van een brede empirische kennis van het betreffende gebied en een idee van buiten af. Met theorie kunnen we verklaringen voor verschijnselen, generalisaties en wetmatigheden geven. Empirische kennis over een specifieke categorie objecten is noodzakelijk voordat theoretische kennis daar functioneel op kan worden toegepast. Het heeft geen zin het begrip ecosysteem te introduceren voordat leerlingen over voldoende empirische kennis van biotische en abiotische factoren beschikken.

In de tweede plaats geven we een indicatie van de organisatieniveaus die in de verschillende sectoren aan de orde kunnen worden gesteld. Het ligt voor de hand om de aandacht in eerste instantie te richten op het organismale niveau. Dat is het niveau waarop we biologische objecten ontmoeten. Een autoecologische (dat wil zeggen een op het organisme gerichte ecologische) benadering sluit daar goed bij aan.

In de derde plaats is, in aansluiting op de beide vorige criteria, een onderscheid gemaakt tussen een objectgerichte en contextgerichte benadering. Een objectgerichte benadering sluit aan bij de betekenis die leerlingen aan het object als zodanig toekennen, terwijl een contextgerichte benadering aansluit bij de betekenis die biologische kennis voor leerlingen kan hebben binnen maatschappelijk gedefinieerde contexten. Uit ervaring weten we dat leerlingen tot een jaar of 10 vooral belangstelling hebben voor de dingen als zodanig. Belangstelling voor de ruimere sociale context waarbinnen deze objecten een plaats hebben, ontwikkelt zich pas later. Met name in het project Natuuronderwijs voor de Basisschool is een objectgerichte benadering uitgewerkt.

En in de vierde plaats is, in aansluiting op de vorige drie criteria, aangegeven welk aspect van biologisch denken aan de orde gesteld kan worden. Vorm–functie denken kan zeker door leerlingen vanaf een jaar of 10 met succes worden beoefend, doordat het in eerste instantie betrekking heeft op het organismale niveau. In navolging van Darwin (1859) kan een eerste introductie van evolutionair denken gebaseerd worden op via inductie verkregen inzicht in voedselpatronen en levensgemeenschappen. Systeemdenken baseert zich op theoretische kennis en kan pas relatief laat met succes worden ontwikkeld.

Een nadere typering van het biologieprogramma in de verschillende sectoren kan worden gegeven als we tabel 4 uitbreiden met de in tabel 2 opgenomen competenties en de in tabel 3 genoemde sleutelbegrippen.

Een programma dat zich richt op de ontwikkeling van aan sleutelbegrippen gerelateerde competenties verschilt op essentiële punten van de biologieprogramma's die leerlingen momenteel krijgen aangeboden.

Een eerste karakteristiek is dat een onderscheid gemaakt wordt tussen disciplinaire en thematische programmaonderdelen. Disciplinaire programmaonderdelen zijn gericht op de ontwikkeling van sleutelbegrippen, thematische programmaonderdelen zijn gericht op de verwerving van competenties waarbinnen die sleutelbegrippen worden toegepast. Bij toepassing van sleutelbegrippen kunnen de leerlingen uitwerken hoe iets in een specifiek geval in elkaar zit of werkt. Niet om alle details te weten, maar om de kennis van het betreffende sleutelbegrip te verdiepen. Als leerlingen uitzoeken hoe regulatie van het lichaamsgewicht of van de bloeddruk plaatsvindt, is dat in eerste instantie niet met de bedoeling om dat in detail te onthouden, maar om hun kennis van het begrip regulatie te verdiepen. Anderzijds is natuurlijk ook mogelijk dat het voorbeeld van regulatie van het lichaamsgewicht voor een deel van de leerlingen een dusdanig hoge relevantie heeft, dat ze juist precies willen weten hoe ze hun lichaamsgewicht binnen de perken kunnen houden. De conclusie is dan ook dat er een zekere spanning bestaat tussen een programma waarin enerzijds de ontwikkeling van sleutelbegrippen wordt benadrukt en waarin anderzijds bij de keuze van vakinhoud wordt uitgegaan van contexten die voor leerlingen relevant zijn.

Een tweede karakteristiek van een dergelijk programma is dat de ontwikkeling van sleutelbegrippen als rode draden door het programma lopen. Een sleutelbegrip wordt expliciet geïntroduceerd, wordt expliciet gebruikt in thematische programmaonderdelen en wordt in een volgend disciplinair programmaonderdeel verder uitgewerkt. Dat betekent dat van een sleutelbegrip achtereenvolgens verschillende betekenissen worden ontwikkeld (zie bijv. Boersma & Schouw, 1988).

Een programma dat de ontwikkeling van aan sleutelbegrippen gerelateerde competenties beoogt, richt zich op een hoge mate van wendbaarheid van de ontwikkelde sleutelbegrippen. Diepgang krijgt in een competentiegericht biologieprogramma een heel andere betekenis dan in de huidige biologieprogramma's. Diepgang betekent niet meer dat biologische kennis op academisch niveau wordt behandeld, maar dat sleutelbegrippen in een verscheidenheid van contexten kunnen worden gehanteerd (vgl. Vermunt, 1992).

## **8. Oplossing van knelpunten in een competentiegericht biologieprogramma**

De vraag is natuurlijk of een longitudinaal programma voor leerlingen van 4 tot 18 zoals dat in de voorgaande paragrafen is geschetst in voldoende mate tegemoet komt aan de vier knelpunten die we daarvoor hebben besproken. Naar onze mening schept een dergelijk programma de voorwaarden daarvoor. Echter, benadrukt moet opnieuw worden dat de vier knelpunten nooit alleen op het niveau van het leerplan kunnen worden opgelost. Veel zal afhangen van de manier waarop auteurs van methoden het programma uitwerken en van de keuzen die leraren mede aan de hand van hun methode maken.

De relevantie voor leerlingen is in een competentiegericht biologieprogramma beter gewaarborgd dan thans, omdat het programma zich expliciet richt op het verwerven van competenties die voor leerlingen algemeen vormende en beroepsoriënterende betekenis hebben. De biologische inhoud wordt gekozen op grond van hun betekenis in buitenschoolse praktijken. Sterke punten van het geschetste programma zijn het longitudinale karakter en de interne samenhang. Het is een programma voor 4- tot 18-jarigen, het gaat om één traject dat in verschillende sectoren van ons onderwijssysteem wordt gerealiseerd. Het programma richt zich op een beperkt aantal competenties en een beperkt aantal sleutelbegrippen. De structuur van het programma kan heel goed aan leerlingen worden uitgelegd. Het ligt voor de hand daarbij een cyclische opbouw te volgen, zodat leerlingen thema's regelmatig herhalen, voordat ze op een hoger niveau, of in een andere context worden aangeboden. Daarbij moet zowel de horizontale als de verticale samenhang worden uitgewerkt. De kans op overladenheid van een competentiegericht biologieprogramma is sterk gereduceerd, als auteurs van methoden zich realiseren dat uitwerkingen van sleutelbegrippen bedoeld zijn als voorbeeld, en als docenten een goed inzicht hebben in de rationale van het programma en hun methode kritisch hanteren (Boersma, 2000c). Van groot belang is voorts dat examenprogramma's worden gebaseerd op ontwikkelde praktijken, en niet andersom.

Een essentieel punt dat nader moet worden uitgewerkt is de spanning tussen competenties en sleutelbegrippen. Op het eerste gezicht lijkt hier sprake van inconsistentie. Immers, sleutelbegrippen representeren toch de vakinhoud, en de keuze daarvoor betekent toch dat de vakinhoud wordt benadrukt en juist niet de biologische kennis binnen specifieke praktijken? Toch is dit, zo wordt voorlopig verondersteld, geen echte tegenstelling. Daarvoor zijn twee argumenten. In de eerste plaats is een kenmerk van sleutelbegrippen juist dat ze globaal en generiek zijn, ze kunnen in een verscheidenheid van praktijken specifiek worden uitgewerkt. In de tweede plaats kan de selectie van sleutelbegrippen niet eenzijdig door de vakwetenschap worden bepaald. Selectie van sleutelbegrippen moet als een vakdidactisch probleem worden gezien, waarbij sleutelbegrippen niet alleen vanuit het perspectief van de vakwetenschap als structuurbepalend moeten kunnen worden gezien, maar ook vanuit het biologieonderwijs zelf. Om die reden zijn in tabel 3 ook empirische begrippen opgenomen.

Voorlopig wordt gesteld dat een programma zoals is geschetst de voorwaarden kan scheppen voor een adequate aanpak van de vier problemen die zijn besproken. Het geschetste programma kijkt op hoofdpunten af van de

programma's die nu worden gevolgd en zullen grote veranderingen voor leerlingen, leraren, auteurs van methoden, leerplan- en toetsontwikkelaars met zich meebrengen. Dat kost veel inzet en tijd. Toch zal een dergelijk programma in 2020 moeten zijn ingevoerd, omdat er anders in 2020 geen programma is dat recht doet aan de centrale plaats die biologie in onze samenleving heeft. Om in 2020 zo ver te kunnen zijn is het nodig dat zo spoedig mogelijk een commissie wordt ingesteld die de opdracht krijgt eerst een visie voor een samenhangend programma voor 4- tot 18-jarigen uit te werken. Daarna moeten, als de voorstellen voldoende zijn gelegitimeerd, de programma's worden uitgewerkt en uitgetest. De komende 20 jaar zijn hard nodig om de beoogde vernieuwingen in fasen te kunnen ontwikkelen en invoeren. Aan het begin van de 21<sup>e</sup> eeuw staat het biologieonderwijs voor een grote uitdaging.

### Literatuur

- ACLO-Biologie (1981). *Onderwijs en Biologie. Een aanzet tot discussie*. Enschede: SLO
- Akker, J.J.H. van den (1988). *Ontwerp en implementatie van natuuronderwijs*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Bertalanffy, L. von (1968). *General systems theory*. New York: George Braziller.
- Biologische Raad (1967). *Programmabasis Leerplan Biologie voor het Voortgezet Onderwijs*. Amsterdam: KNAW.
- Bijl, J. (1970). *Over leerplanonderzoek*. Groningen: Wolters-Noordhoff
- Black, P. & Atkin, J.M. (eds.) (1996). *Changing the subject: innovation in science, mathematics and technology*. London: Routledge.
- Boersma, K.Th. (1997). *Systeemdenken en zelfsturing in het biologieonderwijs*. Oratie Universiteit Utrecht.
- Boersma, K.Th. (2000a). *Verscheidenheid in eenheid*. Paper NIBI/NVON-conferentie 14 januari 2000 te Lunteren.
- Boersma, K.Th. (2000b). Biologie in het studiehuis: knelpunten en oplossingsrichtingen. In: K.Th.Boersma (red.). *Naar vernieuwing van de examenprogramma's havo en vwo*. Enschede: SLO. pp.25-38.
- Boersma, K.Th. (2000c). Oorzaken en aanpak van overladenheid van het operationele curriculum in de basisvorming. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch* 25 (1/2), 110-117.
- Boersma, K.Th. & Schouw, J.C. (1988). *Tussen natuur en milieu*. Enschede: SLO.
- Bos, K.Tj. & Vos, F.P. (2000). *Nederland in TIMSS-1999. Exacte vakken in leerjaar 2 van het voortgezet onderwijs*. Enschede: OCTO, Universiteit Twente.
- Commissie Historische en Maatschappelijke Vorming (2001). *Verleden, heden en toekomst. Advies van de Commissie Historische en Maatschappelijke Vorming*. Enschede: SLO.
- Darwin, C. (1859). *The origin of species by means of natural selection*. (herdruk 1968). London: Penguin Books.
- Davydov, V.V. (1984). Substantial generalization and the dialectical-materialistic theory of thinking. In M.Hedegaard et al. (Eds.). *Learning and teaching on a scientific basis. Methodological and epistemological aspects of the activity theory of learning*. Aarhus Universitet.

- Dennett, D.C. (1995). *Darwin's dangerous idea. Evolution and the meaning of life*. London: Penguin Books.
- Freedman, D. (1998). *Science Education. How curriculum and instruction are evolving*. Curriculum Update, fall 1998.
- Geraedts, C. & Boersma, K.Th. (2000). De ontwikkeling van het begrip natuurlijke selectie in havo/vwo. *Tijdschrift Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen* 17(2), 124-150.
- Groot, A.D. de (1978). Wat neemt de leerling mee van onderwijs? Gedragsrepertoires, programma's, kennis-en-vaardigheden. In A.G. Vroon & S.E.M. Everwijn (red.). *Handboek voor de onderwijspraktijk*. Deventer: Van Loghum Slaterus. pp.2.3. A1-A23.
- Hendrikse, M. & Boersma, K.Th. (1999). Leerlingdenkbeelden over soortsvorming. *Tijdschrift Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen* 16(2), 110-129.
- Hennessy, S., McCormick, R. & Murphy, P. (1993). The myth of general problem solving capability. Design and technology as an example. *The Curriculum Journal*, 4, 59-72.
- Inspectie van het Onderwijs (1993). *Natuuronderwijs, nader bezien*. Den Haag: SDU.
- Inspectie van het Onderwijs (1999). *Biologie in de basisvorming. Evaluatie van de basisvorming na vijf jaar*. Vakrapport 3. Den Haag: SDU.
- Janssen, F.J.J.M. (1999). *Ontwerpend leren in het biologieonderwijs. Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs*. Utrecht: CD $\beta$  Press.
- Jantsch, E. (1980). *The self-organizing universe. Scientific and human implications of the emerging paradigm of evolution*. Oxford/New York: Pergamon Press.
- Kauffman, S. (1996). *Eieren, straalmotoren en paddestoelen. Zelforganisatie als verborgen sleutel tot evolutie*. Amsterdam/Antwerpen: Uitgeverij Contact.
- Kamp, M. (2000). *Centrale concepten in het curriculum. Het voorbeeld homeostase in het curriculum van de bovenbouw vwo*. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Kamp, M. & Boersma, K. (2001) Biologische sleutelbegrippen. Het belang van rode draden in het biologieonderwijs. *Niche*, 32(2), 9-12.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Utrecht: CD $\beta$ -Press.
- Knippels, M.CP.J., Waarlo, A.J. & Boersma, K.Th. (2000). *Coping with the abstract and complex nature of Mendelian genetics in upper-secondary education*. Paper Third Conference of ERIDOB Santiago de Compostela, September 27<sup>th</sup> – October 1<sup>st</sup> 2000.
- Koestler, A. (1978). *Janus. A summing up*. London: Hutchinson & Co Ltd.
- Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) (1997). *Biologie: het leven centraal*. Eindrapport van de Verkenningcommissie Biologie. Amsterdam: KNAW.
- Kortland, J. (2001). *A Problem Posing Approach to Teaching Decision Making about the Waste Issue*. Utrecht: CD $\beta$ -Press.
- Kuiper, W.A.J.M.(1993). *Curriculumvernieuwing en lespraktijk. Een beschrijvend onderzoek op het terrein van de natuurwetenschappelijke vakken in het perspectief van de basisvorming*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Lock, R. (1997). Is there life in Science 2000? *Journal of Biological Education* 31(2), 83-85.

- Maesen de Sombreff, P. van der & Schakel, L. (1999). Wat zijn competenties niet? *Opleiding & Ontwikkeling*, 12, 11-17.
- Mayr, E. (1983). How to carry out the adaptionist programme. *The American Naturalist*, 121, 324-334.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzalez, E.J., Gregory, K.D., Smith, T.A., Chrostowski, S.J., Garden, R.A. & O'Connor, K.M.. (2000). *TIMSS 1999. International Science Report. Findings from the IEA's Repeat of the Third International Mathematics and Science Study at the Eight Grade*. Chestnut Hill, MA: TIMSS International Study Center, Boston College.
- Maturana, H.R. & Varela, F.J. (1989). *De Boom der Kennis. Hoe wij de wereld door onze eigen waarneming creëren*. Amsterdam: Uitgeverij Contact.
- Moréllis, H. & Timmermans, P. (1998). *Leerplan voor het deelvak biologie in het vwo*. Enschede: SLO.
- Mullis, I.V.S., Martin, M.O. Beaton, A.E. Gonzalez, E.J. Kelly D.L. & Smith T.A. (1998). *Mathematics and Science Achievement in the Final Year of Secondary School*. IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS). Chestnut Hill, MA: TIMSS International Study Center, Boston College.
- Núñez, F. & Banet, E. (1997). Students' conceptual patterns of human nutrition. *International Journal of Science Education* 19(5), 509-526.
- Oers, B.van (1998). From Context to Contextualizing. *Learning and Instruction*, 8 (6), 473-488.
- Reiss, M.J., Millar, R. & Osborne, J. (1999). Beyond 2000: science/biology education for the future. *Journal of Biological Education* 33(2), 68-70.
- Robinson, S.B. (1975). *Bildungsreform als Revision des Curriculum*. Darmstadt: Luchterhand Verlag.
- Roebertsen, H. (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis. Ontwikkeling en onderzoek van een curriculum rond het thema 'lichaamsprocessen en vergift'*. Utrecht: CDÛ Wetenschappelijke bibliotheek.
- Rose, S. (1997). *Lifelines. Biology, freedom, determinism*. London: Penguin Books.
- Schermer, A.K.F. (1988). *Doorlopend BiologieOnderwijs*. Utrecht: VDB/NIBI
- Siefkens, Rippl & Schermer, A.K.F.(2001). Wat weten leerlingen van aminozuren? *Niche* (in druk)
- SLO (1995). *Advies Examenprogramma's havo/vwo. Biologie, Natuurkunde, Scheikunde*. Enschede: SLO.
- Stokking, K.M. & Schaaf, M.F. Van der. (2000). *Ontwikkeling en beoordeling van onderzoeksvaardigheden. Verslag van een onderzoek in de Tweede Fase VO*. Utrecht: ISOR.
- Thijssen, J. (1998). Hindernissen voor competentie management. *Opleiding & Ontwikkeling*, 10, 17-23.
- Vermunt, J. D.H.M. (1992). *Leerstijlen en sturen van leerprocessen in het hoger onderwijs. Naar proces gerichte instructie in zelfstandig denken*. Amsterdam/Lisse: Swets & Zeitlinger
- Vollebregt, M. J. (1998). *A problem-posing approach to teaching an initial particle model*. Utrecht: CDÛ-Press.
- Weelie, D.van (2001a). Contextualising Biodiversity. In O. de Jong, E.R.Savelsbergh & A.Ablas (Eds.). *Teaching for scientific literacy. Context, competency, and curriculum*. Utrecht: CDÛ-Press. pp.99-116.
- Weelie, D. van (2001). *Biodiversiteit contextualiseren*. CDÛ-Press (in druk)

- Weelie, D. van, Straaten, E. & Damoiseaux, P. (2000). *Biodiversiteit in de bovenbouw biologie: lespakketten voor educatie over biodiversiteit*. Utrecht: Didactiek van de Biologie.
- Williams, G.C. (1997). *De natuur als ontwerper*. Amsterdam/Antwerpen: Uitgeverij Contact.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (1986). *Basisvorming in het onderwijs*. 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij.