

Naar een onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem

Roald P. Verhoeff, Arend-Jan Waarlo en Kerst Th. Boersma
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Universiteit Utrecht

Samenvatting

Bij de behandeling van het onderwerp celbiologie worden leerlingen geconfronteerd met een groot aantal nieuwe structuren en processen. Veel leerlingen lukt het niet om op basis van het geleerde een samenhangend beeld op te bouwen van de cel als basiseenheid van het organisme. Dit heeft tot gevolg dat er begripsproblemen ontstaan tijdens latere thema's die een zekere celbiologische basis vereisen. Om de samenhang in het leren en onderwijzen van (cel)biologie te vergroten introduceren we het systeemdenken als domeinspecifieke competentie. Een belangrijk element van het systeemdenken is het onderscheiden en in verband brengen van de verschillende organisatieniveaus, zoals het moleculair, cellulair, organismaal en populatieniveau. Dit artikel beschrijft het theoretische uitgangspunt en twee voorstudies op basis waarvan een voorlopige onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem geformuleerd wordt.

1. Inleiding

Biologie is bij uitstek een vak waarin leerlingen in relatief korte tijd veel nieuwe begrippen moeten leren. Het curriculum is onderverdeeld in verschillende thema's, zoals erfelijkheid, stofwisseling en evolutie en ieder thema brengt een groot aantal nieuwe begrippen met zich mee. Bovendien doorkruisen de meeste thema's meerdere organisatieniveaus, zoals het moleculaire, cellulaire en organismale niveau. Bij de beschrijving van processen en structuren op een bepaald organisatieniveau wordt vaak gebruik gemaakt van begrippen die specifiek zijn voor dat niveau. Bij de behandeling van een thema blijft de relatie tussen de gebruikte begrippen en organisatieniveaus echter vaak impliciet. Daardoor wordt de biologie als schoolvak onnodig complex en ingewikkeld voor leerlingen. Om hierin verbetering te brengen zullen we de inhoud van het huidige biologieprogramma kritisch moeten bekijken.

Boersma (2001) heeft betoogd dat we bij het bepalen van de inhoud van het biologieprogramma van de functionaliteit van biologische kennis moeten uitgaan. De vraag is niet wat leerlingen allemaal moeten weten, maar wat ze met hun kennis kunnen doen. Om te kunnen bepalen wat de moeite waard is om te kunnen doen maakt Boersma gebruik van het begrip competentie dat hij omschrijft als een handelingsrepertoire dat betekenisvol is in een of meer praktijken uit het dagelijks leven, beroep of studie. Het handelingsrepertoire kan gezien worden als een samenspel van kennis, vaardigheden en attitudes dat het mogelijk maakt een bepaalde taak te vervullen. Een belangrijke competentie binnen de biologie betreft het systeemdenken. We kunnen deze competentie omschrijven als het willen en kunnen onderscheiden van de verschillende biologische organisatieniveaus vanuit het perspectief dat 'natural wholes, such as organisms, are complex and composite, consisting of many parts in active relation and interaction of one kind or another and that the parts

may be themselves lesser wholes, such as cells in an organism' (Mayr, 1997). De sterke ontwikkeling die de biologie als wetenschap heeft doorgemaakt heeft het belang van systeemdenken doen toenemen. Inzichten op het moleculair niveau zijn geleidelijk verbonden met hogere organisatieniveaus en omgekeerd ontleent veel onderzoek op het niveau van moleculen of cellen zijn vraagstelling aan werk op het niveau van het organisme of ecosysteem. De Biologische Raad merkt over deze ontwikkeling op:

Het wordt steeds duidelijker dat het bestuderen van biologische problemen het bestuderen van problemen van biologische systemen is en dat deze benadering losstaat van het organisatieniveau waarop men het probleem bestudeert. Dat heeft inmiddels tot een sterke integratie van biologische kennis geleid. Het ligt dan ook in de lijn der verwachting dat in het biologisch onderzoek van de toekomst deze integratie van kennis steeds meer zal toenemen (Biologische Raad, 1997).

In aansluiting op de omschrijving van de Biologische Raad kunnen we als een belangrijk doel van het biologieonderwijs beschouwen leerlingen in te wijden in de complexiteit, dynamiek en samenhang van biologische systemen. In de exameneisen wordt het systeemdenken dan ook als vakspecifieke vaardigheid omschreven. Alhoewel het belang van systeemdenken voor het biologieonderwijs wordt erkend, kunnen we aan de exameneisen niet ontlene op welke manier het gestalte zou moeten krijgen. In de gebruikte schoolmethodes blijkt er nauwelijks uitwerking aan te worden gegeven. Hier ligt dus een taak voor didactisch onderzoek.

Het onderzoeksprogramma van de leerstoelgroep Didactiek van de Biologie (CD β) richt zich op het ontwikkelen van systeemdenken in het biologieonderwijs. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat leerlingen samenhangende biologische kennis kunnen ontwikkelen als ze systeemdenken als competentie verwerven. Deze veronderstelling wordt ondersteund door het promotieonderzoek van Knippels (2002), waarin zij laat zien dat de complexe aard van de genetica voor leerlingen hanteerbaar wordt door het expliciteren van de organisatieniveaus en het heen-en-weer denken daartussen.

Het hier beschreven onderzoek tracht de bruikbaarheid van het systeemdenken voor het biologieonderwijs verder te verkennen. Hierbij is celbiologie gekozen als vakinhoudelijk context om te leren systeemdenken. In de vakdidactische literatuur worden diverse problematische onderwerpen op cellulair niveau beschreven zoals fotosynthese, genetica en osmose (Bahar, 1999; Dreyfus & Jungwirth, 1989) en worden problemen geconstateerd met de samenhang op het cellulair niveau (Douvdevany, 1997). Daarnaast zijn veel begripsproblemen op zowel het cellulair niveau als het organismaal niveau terug te voeren op onvoldoende samenhang tussen deze organisatieniveaus (Núñez & Banet, 1997). In het huidige curriculum vormt de celbiologie, afgaande op een aantal veel gebruikte methoden in Nederland, een tamelijk geïsoleerd onderdeel waarin veel aandacht is voor subcellulaire begrippen en weinig relatie wordt gelegd met hogere organisatieniveaus. We mogen dus verwachten dat zich hier vergelijkbare problemen voordoen als in de literatuur zijn beschreven. Desgevraagd beamen docenten dit beeld en geven ze aan dat ze zelf expliciet aandacht moeten schenken aan de relaties tussen thema's als celbiologie en vertering, erfelijkheid of evolutie. Door de overladenheid van het biologieprogramma komen ze hier echter lang niet altijd aan toe,

waardoor vaak alleen de 'slimmere' leerling pas in het examenjaar verbanden gaat leggen en een samenhangend beeld krijgt van de biologie.

De probleemstelling in dit promotieonderzoek is als volgt geformuleerd: Op welke wijze kan het celbiologieonderwijs vorm gegeven worden vanuit systeemtheoretisch perspectief, opdat leerlingen een samenhangend en adequaat begrip van de cel als basiseenheid van organismen verwerven? Uit de probleemstelling zijn vier onderzoeksvragen afgeleid die nauw verband houden met de fasering van het onderzoek:

(1) Welke ontwerpcriteria kunnen worden ontleend aan het systeemtheoretisch perspectief? (2) Uit welke (volgorde van) onderwijsleeractiviteiten zou de onderwijsleerstrategie kunnen bestaan? (3) In hoeverre worden de beoogde leerdoelen bereikt en welke leerprocessen hebben geleid tot het feitelijk leerresultaat? (4) Welke indicaties kunnen we afleiden uit het daadwerkelijk verlopen onderwijsleerproces om de initiële onderwijsleerstrategie aan te passen?

De onderzoeksvragen worden beantwoord door middel van ontwikkelingsonderzoek, een vorm van interpretatief onderzoek waarin op cyclische wijze theoretische en praktijkgestuurde reflectie wordt afgewisseld met empirisch onderzoek in de klas (Lijnse, 1995). In de eerste fase worden de criteria geïdentificeerd voor het ontwerpen van een onderwijsleerproces. Hierbij wordt relevante literatuur bestudeerd en worden problemen in de huidige onderwijspraktijk geëxploreerd door onder andere interviews met leerlingen en docenten. Vervolgens worden de ontwerpcriteria vertaald in een onderwijsleerstrategie die als een reeks leeractiviteiten in de klas wordt uitgetest. In deze empirische fase worden data verzameld door middel van observatie, geluidsopnamen, interviews en inname van de werkbladen. Analyse van het lesverloop leidt tot aanpassing van de strategie voor een tweede testfase. Uiteindelijk wordt zo een solide empirische basis verkregen voor de theoretische noties die hebben geleid tot de ontwikkelde onderwijsleerstrategie.

Dit artikel beschrijft de ontwikkeling van een voorlopige onderwijsleerstrategie voor celbiologie vanuit systeemtheoretisch perspectief. De eerste onderzoeksvraag is uitgewerkt in twee deelvragen: (a) hoe integreren we celbiologie en systeemdenken en (b) hoe ontwikkelen leerlingen een motief om te leren systeemdenken? In paragraaf 2 worden deze vragen theoretisch uitgewerkt. Daarna worden twee oriënterende studies gepresenteerd die in belangrijke mate hebben bijgedragen aan het definiëren van ontwerpcriteria voor de onderwijsleerstrategie. De eerste studie betrof een onderwijsinterventie met als onderwerp hormonale regulatie, waarbij de leerstof werd geordend naar organisatieniveau. De tweede studie betrof de ontwikkeling en evaluatie van interactief lesmateriaal waarin een systeemmodel wordt ontwikkeld. Beide vooronderzoeken vonden plaats in 4 vwo. Het interactieve lesmateriaal werd daarnaast ook getest in 4 havo. Tot slot wordt het resultaat van het vooronderzoek beschreven in de vorm van een voorlopige onderwijsleerstrategie voor celbiologie vanuit systeemtheoretisch perspectief.

2. Theoretische fundering voor een onderwijsleerstrategie

Als we systeemdenken als competentie willen ontwikkelen, is het uiteraard noodzakelijk daar een nadere operationalisering van te geven en vast te stellen welke systeemtheoretische kennis daarbij van belang is (zie hiervoor

ook Boersma, 2000; 2001). Voor het voortgezet onderwijs zijn zowel de algemene systeemtheorie, als de cybernetica en de dynamische systeemtheorie (chaostheorie) van belang (Boersma, 1997). Hier beperken we ons echter tot de Algemene Systeem Theorie (AST), omdat begrip van deze theorie ook noodzakelijk is voor een vervolg in de cybernetica en de chaostheorie. Omdat leerlingen in het huidige biologieonderwijs in de meeste gevallen geen systeemtheoretische kennis verwerven, ligt het voor de hand om de aandacht in eerste instantie te richten op de ontwikkeling van systeemdenken op basis van de AST.

Tabel 1. Inhoud van de Algemene Systeemtheorie (AST).

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Biologische objecten kunnen worden gezien als systemen met een intern en extern milieu gescheiden door een systeemgrens• Biologische systemen kenmerken zich door hun vorm, functie en gedrag• Biologische systemen hebben een hiërarchische structuur, dat wil zeggen dat verschillende organisatieniveaus kunnen worden onderscheiden• Ieder biologisch systeem is zowel een natuurlijk geheel als een functioneel onderdeel van een systeem op bovenliggend organisatieniveau• Biologische systemen zijn open systemen met een input, throughput en output van materie, energie en informatie |
|--|

In de AST neemt het begrip organisatieniveau een centrale plaats in. Voor ontwikkeling van het begrip organisatieniveau is kennis van verschillende organisatieniveaus nodig, alsmede kennis van de structuren en processen die op verschillende organisatieniveaus aan de orde zijn. Zo zullen we aan de hand van een aantal voorbeelden moeten laten zien welke organisatieniveaus kunnen worden onderscheiden. In het huidige onderzoek is er voor gekozen leerlingen te laten zien dat de cel als systeem kan worden gezien, door abstractie van de algemene levenskenmerken van een eencellig organisme (Verhoeff, 2000). Vervolgens is het daardoor verworven inzicht toegepast op de cel als onderdeel van een (meercellig) organisme.

Als leerlingen dan zien dat de cel zowel een autonome eenheid als een bouwsteen van een groter geheel is, kunnen naast het cellulaire niveau tenminste ook het moleculaire niveau, het orgaanniveau en het organismaal niveau worden onderscheiden. Hogere organisatieniveaus (populatie, levensgemeenschap) laten we hier buiten beschouwing; echter voor een systeem-begrip van de cel voegen we het organelniveau toe.

Bij het uitwerken van een onderwijsleerstrategie die zich zowel richt op de ontwikkeling van elementaire celbiologische kennis als op de introductie van de AST, zijn we uitgegaan van een aantal veronderstellingen. De eerste veronderstelling is dat de strategie moet aanvangen op organismaal niveau en van daaruit moet afdalen naar lagere organisatieniveaus. Immers, de biologische voorkennis die leerlingen in de basisvorming verwerven, heeft vooral betrekking op het organismaal niveau. Bovendien laat onderzoek zien dat kinderen als ze biologische objecten ordenen, zich vooral op het totale object richten en niet op onderdelen daarvan. Deze zgn 'whole object assumption' (Markman, 1990) impliceert dat leerlingen zich bij het categoriseren richten op het object met de meest opvallende systeemgrenzen: het organisme.

De benadering om vanuit het organismaal niveau naar het cellulaire en moleculaire niveau af te dalen, is door Knippels (2002) voor genetica uitgewerkt tot een onderwijsleerstrategie die gebaseerd is op de probleemstellende benadering van Klaassen (1995). In de probleemstellende aanpak zijn de stappen in het leerproces zodanig vormgegeven dat leerlingen enerzijds op inhoudelijke gronden continu weten waar ze mee bezig zijn en anderzijds de inhoudelijke doelen bereiken. De leeractiviteiten worden gepland zodat iedere leeractiviteit een vraag oproept die in een volgende activiteit beantwoord wordt, waarbij dan weer een nieuwe vraag wordt opgeroepen. De zogenoemde jojo-strategie die Knippels heeft ontwikkeld, laat zien dat leerlingen samenhangende kennis van de genetica kunnen verwerven als (a) kennis van voorplanting en genetica gerangschikt wordt naar organisatieniveau, als (b) vanuit het organismaal niveau wordt afgedaald naar het cellulaire en moleculaire niveau en als (c) vanuit deze niveaus teruggekoppeld wordt naar het organismaal niveau. Het is aannemelijk gemaakt dat de jojo-strategie bruikbaar zou kunnen zijn voor alle biologische thema's die betrekking hebben op meerdere organisatieniveaus.

De tweede veronderstelling binnen dit onderzoek is dat inzicht in de aard van de kennis ertoe leidt dat we nauwkeuriger kunnen aangeven met welke leerproblemen leerlingen te maken kunnen hebben. Met andere woorden, de aard van de elementaire celbiologische en systeemtheoretische kennis zegt iets over de leerbaarheid ervan en heeft implicaties voor het ontwikkelen van een onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem. Een belangrijk onderscheid is dat tussen empirische kennis en theoretische kennis. Theoretische kennis doet uitspraken over de empirie, door verklaringen te geven voor verschijnselen en wetmatigheden. Theoretische kennis kan echter niet worden ontleend aan empirische kennis (Walgenbach, 1996). Bij theoretische kennis gaat het om een nieuwe manier van kijken naar bekende oorzaak-gevolg relaties. Hiervoor is input van nieuwe ideeën nodig, ideeën die veelal op het eerste gezicht niets te maken hebben met de empirische gegevens waarvoor een verklaring wordt gezocht. Empirische kennis daarentegen wordt ontwikkeld door generalisatie en inductie op basis van waarneming en categorisering en onder gebruikmaking van reeds beschikbare kennis (Van Aalsvoort, 2000; Goldstone & Barsalou, 1998; Hempel, 1973).

Wat betekent een dergelijke beschouwing nu voor een onderwijsleerstrategie? Als theoretische kennis niet door generalisatie en inductie kan worden ontwikkeld, ligt het voor de hand dat in een onderwijsleerproces deze kennis door de leraar moet worden geïntroduceerd. Voor een onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem is het daarom van groot belang om aan te geven welke kennis we theoretische kennis beschouwen en welke kennis in een onderwijsleerproces door generalisatie en inductie kan worden verkregen.

Boersma (1999) heeft betoogd dat de celtheorie ('alle organismen bestaan uit cellen') niet als theoretische kennis moet worden gezien. Kennis van structuren en processen op het moleculair niveau gaat daarentegen uit van het theoretische begrip 'molecuul'.

Alhoewel de aanduiding 'Algemene Systeemtheorie' suggereert dat het om theoretische kennis gaat, blijkt bij nadere beschouwing (Boersma, 1999) dat het begrip systeem in principe kan worden opgevat als de grootst mogelijke abstractie van een concreet biologisch object. Hierbij is de opvatting dat abstractie en generalisatie nauw verbonden processen zijn zodat abstracte ken-

nis niet hetzelfde is als theoretische kennis. Zo is het begrip 'organisme' bijvoorbeeld in hoge mate abstract, maar geenszins theoretisch te noemen.

Dit betekent dat de kenmerken van biologische systemen die beschreven worden in de AST, zoals het onderscheiden van systeemgrenzen en organisatieniveaus, het open-systeemkarakter en de interrelatie met het milieu (Tabel 1) niet als theoretische begrippen hoeven te worden aangemerkt. De veronderstelling is dan ook dat we bij de ontwikkeling van een onderwijsleerstrategie, gericht op het leren systeemdenken zoals dat in de AST naar voren komt, geen rekening hoeven te houden met de problemen die we kunnen verwachten bij de introductie van theoretische kennis. Dat betekent dat het inzicht dat in organismen organisatieniveaus kunnen worden onderscheiden, kan worden opgebouwd door generalisatie en abstrahering van (afbeeldingen van) de interne structuur van organismen, zolang we ons daarbij beperken tot het niveau van het organisme, het orgaan en de cel met de organellen. Als we verder willen afdalen naar het moleculaire niveau, moet het voor leerlingen duidelijk zijn dat afbeeldingen van moleculen opgevat moeten worden als aan de molecuultheorie ontleende modellen en niet als uitvergroting van celorganellen of stoffen. Hiervoor zouden 4h/v leerlingen bij natuurkunde en scheikunde voldoende vertrouwd moeten zijn geraakt met het molecuulbegrip.

Tot zover hebben we vastgesteld dat een onderwijsleerstrategie voor celbiologie vanuit het algemeen systeemtheoretisch perspectief opgebouwd zou moeten worden vanuit organismaal niveau en dat een dergelijk systeembegrip door abstrahering aan concrete biologische objecten of verschijnselen kan worden verworven. De veronderstelling dat gestart zou moeten worden vanuit concreet en organismaal niveau is getoetst door Van Maanen (2001). In dat onderzoek werden vier mogelijke leerstofordeningen getoetst in interviews met leerlingen uit 2 havo en 2 vwo. Iedere ordening was uitgewerkt in vier vragen aan de hand van afbeeldingen. De verschillende versies hadden elk een ander beginpunt: (1) concreet-organismaal, (2) concreet-cellulair, (3) abstract-organismaal, en (4) abstract-cellulair niveau. De resultaten wijzen uit dat met de eerste twee versies het gewenste einddoel, dat een cel gezien kan worden als autonome eenheid en als bouwsteen, door meer leerlingen werd bereikt dan met de laatste twee. De bevinding dat geen verschil kon worden aangetoond tussen de effectiviteit van de eerste en de tweede leerlijn, terwijl de eerste op organismaal niveau aanving en de tweede op cellulair niveau, is begrijpelijk doordat voor de tweede leerlijn gekozen was voor een afbeelding van een eencellige. Een eencellige kan immers als organisme en als cel worden gezien.

De hierboven onderbouwde veronderstellingen geven een indicatie hoe een onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem er in grote lijnen uit kan zien, maar laat nog veel vragen onbeantwoord. Redenerend vanuit een probleemstellende benadering is een kernvraag wanneer celbiologie en systeemtheorie betekenis voor leerlingen kunnen krijgen. Voor celbiologie lijkt het niet moeilijk een motief te ontwikkelen. Door een probleem op organismaal niveau te presenteren en te vragen naar een verklaring, ligt het voor de hand dat leerlingen het antwoord zullen zoeken in de processen op een lager organisatieniveau. Maar hoe zit het nu met de begrippen systeem en organisatieniveau? Gezien het feit dat het systeembegrip pas functioneel kan zijn als ingezien wordt dat structuren of processen op verschillende organisatieniveaus op

een zelfde manier kunnen worden geabstraheerd, rijst de vraag wanneer het voor hen relevant zou kunnen zijn om cellen met organismen te vergelijken.

Een tweede punt dat moet worden opgehelderd is de ordening van celbiologie en systeemtheorie ten opzichte van elkaar. Moet celbiologie eerst aan de orde komen en dan pas het idee van een systeem waarin organisatieniveaus onderscheiden kunnen worden? Of andersom? Als eerst celbiologie wordt behandeld en van daaruit systeemtheorie wordt ontwikkeld, ontstaat voor leerlingen het probleem dat ze nadat het onderwerp al is behandeld nog eens op een andere manier naar de celbiologie moeten kijken. De vraag is of ze daar dan nog wel een voldoende motief voor kunnen ontwikkelen. Bovendien is het dan nog maar de vraag of zij dan nog wel samenhangende celbiologische kennis ontwikkelen. Als we daarentegen eerst systeemtheorie introduceren zouden leerlingen daar bij de ontwikkeling van celbiologische kennis gebruik van moeten kunnen maken. Het probleem van die volgorde is dat daarmee niet aan de verwachting van de leerlingen wordt voldaan, omdat zij verwachten dat de lessenreeks over celbiologie gaat. Feitelijk gaat het om een keuze voor een van de volgende twee benaderingen:

- Systeemtheorie wordt geïntroduceerd en als kader voor de ontwikkeling van celbiologische kennis gehanteerd
 - Systeemtheorie wordt als tweede opbrengst uit celbiologische kennis ontwikkeld en daarna toegepast binnen een ander biologisch thema
- Om een scherper beeld te krijgen van een mogelijk adequate leerstrategie voor de cel als systeem zijn de volgende twee vooronderzoeken uitgevoerd:
- Ontwikkeling en toetsing van een onderwijsleerstrategie voor hormonale regulatie
 - Ontwikkeling en beproeving van interactief lesmateriaal over organisatieniveaus

In de volgende twee paragrafen wordt nader ingegaan op deze vooronderzoeken, waarna in paragraaf 5 wordt ingegaan op de implicaties van de hierboven beschreven theoretische fundering en de twee vooronderzoeken voor het ontwikkelen van een strategie voor celbiologie vanuit systeemtheoretisch perspectief.

3. Hormonale regulatie

Voor een samenhangend begrip van biologische verschijnselen is niet alleen de samenhang tussen structuren en processen op een zelfde organisatieniveau van belang, maar ook de samenhang tussen structuren en processen op verschillende niveaus. Het heen-en-weer denken tussen deze niveaus verloopt bij docenten door jarenlange ervaring vaak moeiteloos; voor leerlingen is dit echter niet vanzelfsprekend. Onderwerpen die meerdere organisatieniveaus doorkruisen, worden door leerlingen dan ook vaak als moeilijk en complex ervaren. In de literatuur wordt de gebrekkige samenhang tussen verschijnselen op verschillende organisatieniveaus gerelateerd aan leerproblemen binnen thema's als voeding (Núñez & Banet, 1997), vertering (Ramadas & Nair, 1996) en de lichamelijke afweer tegen gifstoffen (Roebertsen, 1996). Ook omtrent lichamelijke processen als ademhaling en bloedcirculatie is aangetoond dat leerlingen hun kennis over celstofwisseling onvoldoende aanspreken (Songer en Mintzes, 1994) met als gevolg dat leerlingen problemen hebben om deze processen op organismaal niveau met elkaar in verband te brengen. Zoals we in de inleiding van dit artikel hebben aangegeven, zien we

in veel gebruikte Nederlandse methodes de geïsoleerde positie van de celbiologie terug. Ook tijdens latere thema's wordt nauwelijks expliciet verwezen naar het hoofdstuk dat de cel behandelt, terwijl er wel gebruik gemaakt wordt van celbiologische begrippen. Hier zou de docent dus een rol moeten vervullen door de nieuwe termen toe te lichten en te koppelen met eerder behandelde begrippen.

Om een scherper beeld te krijgen van de leerproblematiek die hiermee gepaard gaat en een systeemtheoretische aanpak van het biologieonderwijs in concreet lesmateriaal uit te werken, werd een onderwijsleerstrategie van twee lessen ontwikkeld voor het onderwerp hormonale regulatie in 4 vwo (zie tabel 2). Bij dit onderwerp is samenhang tussen het (sub)cellulaire niveau en bovenliggende niveaus belangrijk. Om bijvoorbeeld de werking van hormonen in doelwitcellen te kunnen begrijpen, zullen leerlingen hun kennis over de cel moeten aanspreken en relateren aan de hormoonhuishouding op orgaan- en organismeniveau. Hormonale regulatie valt in veelgebruikte methoden binnen het thema homeostase, waarbij opvalt dat het onderwerp zeer gedetailleerd wordt uitgewerkt. Van leerlingen wordt verwacht dat zij een groot aantal hormonen met hun voornaamste werkingen kunnen noemen. Ook valt de diepgang op waarmee de moleculaire werking van hormonen aan bod komt, zonder dat er aandacht is voor de cel als geheel.

De onderzoeksvraag in dit vooronderzoek is als volgt geformuleerd: *Op welke wijze kan introductie van het systeemdenken bij het leren en onderwijzen van hormonale regulatie een oplossing bieden voor het gebrek aan samenhang tussen de organisatieniveaus? Analyse van het lesverloop moet verdere aanwijzingen opleveren voor het ontwikkelen van een eerste onderwijsleerstrategie voor celbiologie vanuit systeemtheoretisch perspectief.*

3.1 De strategie: 'De temperatuurhuishouding: Van lichaam tot cel'

Een eerste concretisering van een systeemaanpak is het ordenen van de leerstof naar organisatieniveau (Boersma, 2000). Aansluitend bij het onderzoek van Knippels verdient het aanbeveling om te starten op het organismaal niveau en van daaruit af te dalen naar het cellulair (en moleculair niveau). Eerder hebben we opgemerkt dat een basaal begrip van de cel noodzakelijk is voor een goed begrip van latere onderwerpen. Leerlingen moeten hun celbiologische kennis kunnen aanspreken tijdens latere thema's die structuren en processen op meerdere organisatieniveaus omvatten. Omdat we mogen aannemen dat leerlingen hun kennis over cellen niet vanzelf zullen aanspreken, zal wanneer het cellulair niveau aan bod komt, een expliciete koppeling gemaakt moeten worden naar het hoofdstuk over celbiologie.

Om systeemdenken als competentie te ontwikkelen, zullen leerlingen eerst een systeembegrip moeten ontwikkelen en de relevantie daarvan moeten ontdekken. Het is makkelijker om een abstract concept te relateren aan waarneembare structuren dan aan processen die alleen indirect waarneembaar zijn. Het ligt dan ook voor de hand om leerlingen met een eerste systeemconcept kennis te laten maken aan de hand van het expliciteren van de opbouw in organisatieniveaus, die we als structurele eigenschap van levende systemen onderscheiden. Dit kan in een reflectie op de gekozen aanpak waarin de ordening van de leerstof wordt geëxpliciteerd.

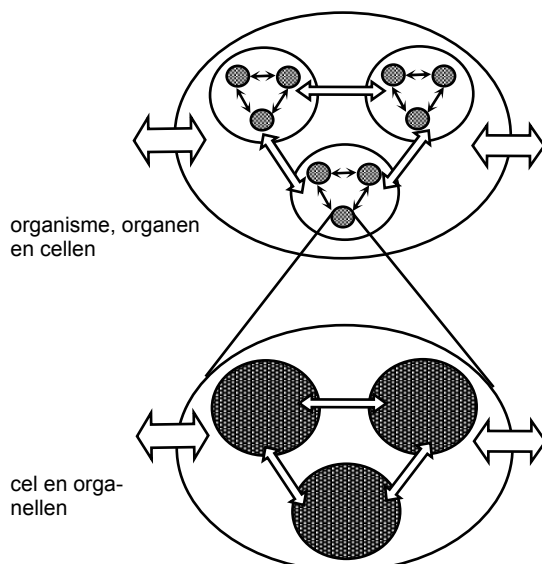
Wanneer we een probleemstellende aanpak willen integreren met een systeemaanpak, moet voor leerlingen duidelijk zijn waarom ze van het orga-

Tabel 2. Onderwijsleerstrategie voor hormonale regulatie: 'De temperatuurhuishouding: Van lichaam tot cel'.

Vakinhoudelijke vragen	Onderwijsleeractiviteiten
LES 1 Hoe houdt je lichaam de temperatuur constant rond de 37°C?	<u>OLA 1: introductie van de hoofdvraag:</u> Klassengesprek over de wijze waarop de hoofdvraag kan worden beantwoord: -verschijnselen op verschillende organisatieniveaus (organisme, orgaan, cel) zijn van belang -explicitering van de ordening van lesinhoud van de komende 2 lessen waarbij we van organismaal niveau naar cellulair niveau afdalen
Hoe reageert het lichaam: -op temperatuurswisselingen in de omgeving? -bij inspanning? Welke organen zijn van belang en welke functie vervullen ze? Welke onderlinge relatie hebben de organen?	<u>OLA 2: Oriëntatie op het organismaal en orgaan-niveau.</u> In. discussiëren in groepjes van 3 over waarneembare verschijnselen in verband met de temperatuurhuishouding. Vervolgens maken ze een schriftelijke opdracht over de fysiologische verschijnselen van de temperatuurhuishouding, met name gericht op de regelkring in het lichaam.
LES 2	<u>OLA 3: Klassikale reflectie (In hoeverre hebben we de hoofdvraag beantwoord?):</u> -explicitering van de wisseling van organisatieniveaus in het afgelegde leertraject -introductie van de cel als organisatieniveau waarop zich de verbranding afspeelt.
Welke organellen spelen een rol bij de cellulaire verbranding en welke functie vervullen ze?	<u>OLA 4: Activeren van celbiologische voorkennis.</u> Individuele schriftelijke opdracht waarbij de leerling voorkennis over de cel activeert (koppeling met hoofdstuk celbiologie in het boek).
Wat zijn de gevolgen van een verstoring aan de schildklier? -voor de atleet op lichamelijk niveau? (waarneembare verschijnselen) -voor de regelkring? (fysiologische verschijnselen) Hoe kan de aandoening verholpen worden? (celbiologische verschijnselen)	<u>OLA 5: Integratie van het organismale en het cellulaire niveau.</u> Groepsopdracht over olympisch atleet Carl Lewis die aan een stofwisselingsaandoening leed. Leerlingen lezen een tekst en bediscussiëren achtereenvolgens de waarneembare (ziekte)verschijnselen, de fysiologische verschijnselen en tot slot dalen ze af naar het (sub)cellulair niveau, waarbij ze nadenken over de werking van het medicijn tegen de aandoening.

nismaal niveau afdalen naar onderliggende niveaus. Een motief hiervoor kunnen we aanreiken in de vorm van een verklaringsvraag: Hoe houdt je lichaam de temperatuur continu rond de 37°C?

In tabel 2 is de strategie, zoals beproefd in de klas, beknopt weergegeven. Aan het begin van de eerste les werd een systeemmodel op sheet geïntroduceerd als illustratie van de wijze waarop de inhoud van de komende lessen was geordend naar organisatieniveau (zie figuur 1). Leerlingen zouden daarmee vooraf kunnen inzien via welke stappen de hoofdvraag steeds gedetailleerder zou worden beantwoord: startend bij waarneembare verschijnselen en eindigend bij processen die zich in de cel afspelen. Vervolgens werden de



Figuur 1: systeemmodel van een meercellig organisme.

leerlingen via een aantal vakinhoudelijke vragen langs de verschillende organisatieniveaus geleid en werd achteraf gereflecteerd op de niveauwisselingen. Te zien is dat de eerste les het onderwerp voornamelijk behandelde op organismaal niveau, terwijl in de tweede les expliciet de relatie werd gelegd met de celbiologie.

3.2. Resultaten

Bovenstaande onderwijsleerstrategie werd nader uitgewerkt in een scenario. Een scenario is een meer expliciete, situatiespecifieke beschrijving en verantwoording van het verwachte onderwijsleerproces, met daarin de verschillende onderwijsleeractiviteiten en verwachte leeropbrengsten. Dit scenario werd ingezet bij het voorbereiden van de docent en stuurde tevens de analyse van het werkelijk verlopen onderwijsleerproces in de klas. De strategie voor hormonale regulatie is in twee klassen uitgetoetst, op het Oosterlicht college in Nieuwegein en het Heerenlanden college in Leerdam. De klassen bestonden uit respectievelijk 21 en 23 leerlingen. Tijdens de lessen werden data verzameld door lesobservatie, inname van werkbladen, interviews met docent en audio-opnamen van de klassengesprekken en groepsdiscussies. Hieronder worden de voornaamste resultaten van de analyse van het onderwijsleerproces beschreven.

In de tweede activiteit werd leerlingen gevraagd naar lichamelijke verschijnselen die optreden tijdens een activiteit als sporten en die te maken hebben met het constant houden van de lichaamstemperatuur. Zoals verwacht, noemden leerlingen in de groepsdiscussies vanuit hun ervaringen een groot aantal verschijnselen zoals zweten, rood worden van de huid, versnelde ademhaling en versnelde hartslag. De leerlingen stelden vervolgens in dezelfde discussie uit zichzelf de vraag naar een fysiologische verklaring voor de

verschijnselen: ...*“wat gebeurt er nou eigenlijk in je lichaam?”*... Meerdere leerlingen relateerden het temperatuurverhogende effect van sporten al snel aan de verbranding in de spieren. Deze beschrijving op het orgaanniveau volstond als verklaring voor de warmteproductie en geen van de leerlingen voelde een noodzaak om een nadere verklaring te zoeken op cellulair niveau. Mede hierdoor verkregen ze geen volledig beeld van de temperatuurregeling. Zo werd in een discussie tussen vier leerlingen een versnelde hartslag niet gekoppeld aan het cellulaire verbrandingsproces, maar wel aan verkoeling van het lichaam: ...*‘als je hart sneller gaat kloppen dan wordt je zuurstof sneller afgevoerd, zodat het minder warm is enzo’*... Een inhoudelijk motief om in activiteit 4 dieper in te gaan op de celbiologische aspecten van de verbranding ontbrak kennelijk. Een leerling riep aan het begin van de tweede les zelfs hardop dat de stof over celbiologie niet bij dit onderwerp hoorde, maar bij hoofdstuk 1 (‘in de cel’). Ze veronderstelde dan ook *‘dat ze dat niet voor de repetitie hoefde te kennen’*.

Het systeemmodel, dat aan het begin van les 1 werd geïntroduceerd, gaf kennelijk onvoldoende aanleiding om af te dalen naar het cellulair niveau. Tijdens de introductie van het model hadden de leerlingen geen behoefte aan een abstracte weergave van het lichaam; in het klassengesprek namen ze een passieve houding aan. Na de les gaven twee leerlingen in een interview aan dat ze het model ingewikkeld vonden en dat ze de meerwaarde van het model niet direct inzagen. Een leerling noemde in dit verband het algemene karakter van het model: *‘Als je het hebt over organen of cellen dan weet je beter waar je over praat’*. De docent ging in de eerste les vrij snel over op een concrete beschrijving van de inhoudelijke stappen van de komende les. Hierdoor verdween het systeemmodel naar de achtergrond en hielp het leerlingen niet om af te dalen naar het cellulair niveau.

Het expliciet erbij betrekken van het cellulair niveau in les twee bood echter wel een bruikbaar startpunt voor nadere verklaring van de temperatuurhuishouding. Door leerlingen te stimuleren na te denken over het verbrandingsproces brachten zij in het klassengesprek de noodzaak naar voren van toevoer van glucose en zuurstof naar de cellen. Meer verbranding in de spiercellen tijdens het sporten vraagt dus om meer toevoer van brandstof en zuurstof. De vraag van de docent hoe dit dan verwezenlijkt wordt, bracht de leerlingen vervolgens via een klassikale discussie aan het einde van les twee terug naar het organismaal niveau en de functie van een versnelde hartslag en ademhaling.

Alhoewel we dus kunnen stellen dat kennis van cellulaire processen kan bijdragen aan een meer samenhangend begrip van lichamelijke processen, bleek tijdens de vierde onderwijsleeractiviteit dat voor leerlingen celbiologie toch een tamelijk geïsoleerd onderwerp is. Bij het activeren van de celbiologische voorkennis hadden de discussies van leerlingen voornamelijk betrekking op de betekenis van celbiologische structuren en processen als DNA, ribosoom, translatie, etcetera, en werd er nauwelijks een relatie werd gelegd met hogere organisatieniveaus. Dat het verbrandingsproces in de mitochondriën naast het leveren van ATP ook bijdraagt aan de warmteproductie voor het lichaam, werd niet aan de orde gesteld. Door leerlingen in onderwijsleeractiviteit 5 echter vanuit inhoudelijke deelvragen te motiveren om vanuit het organismaal niveau af te dalen naar het cellulair niveau, leek de relatie tussen de niveaus beter in beeld te blijven. In een interview na afloop van de les konden

twee leerlingen ook duidelijker aangeven welke weg ze tijdens de opdracht hadden doorlopen en waarom.

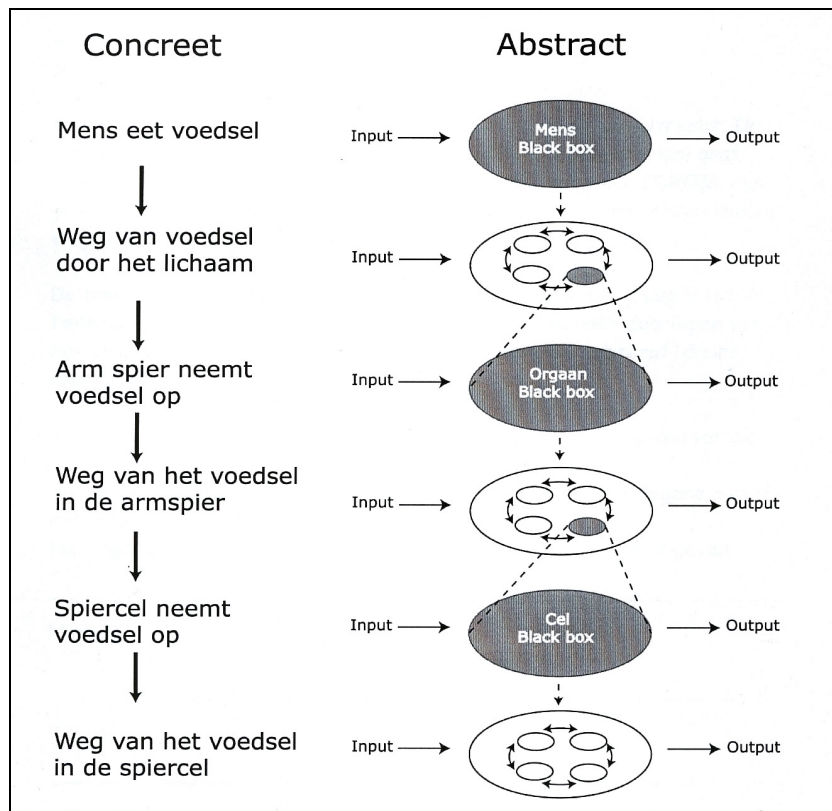
Concluderend kunnen we stellen dat, wanneer we leerlingen een meer samenhangend begrip willen laten ontwikkelen van een verschijnsel dat meerdere organisatieniveaus doorkruist, het van belang is dat het cellulair niveau er expliciet bij wordt betrokken. Bovendien dient het afdalen vanuit het organismaal niveau naar het cellulair niveau gepaard te gaan met sturing vanuit inhoudelijke deelvragen.

Het afdalen in organisatieniveaus lijkt redelijk aan te sluiten bij de intuïtie van leerlingen, al blijkt het afdalen naar het cellulair niveau nog lastig door het ontbreken van een verklaringsprobleem. De celbiologische basiskennis van leerlingen wordt nog weinig spontaan verbonden met andere biologische thema's. Leerlingen koppelen deze kennis niet met verschijnselen op bovenliggende niveaus. Dit lijkt mede te komen doordat de celbiologie een heel specifiek begrippenkader met zich meebrengt, dat voor leerlingen alleen binnen dit thema betekenis heeft. Het expliciteren van het systeemdenken kan helpen bij het verbinden van de celbiologie met verschijnselen op hogere organisatieniveaus. De ervaringen met het systeemmodel in dit vooronderzoek laten echter zien dat hiervoor voldoende tijd nodig is en een actieve inbreng van de leerling. Naast het heen-en-weer denken tussen organisatieniveaus vergt het hanteren van een systeemmodel het heen-en-weer denken tussen een concreet object en een abstracte weergave daarvan. Het combineren van deze twee deelcompetenties lijkt het belangrijkste probleem bij het ontwikkelen van een lessenreeks celbiologie vanuit systeemtheoretisch perspectief.

4. Interactief lesmateriaal: 'Modellen van lichaam tot cel'

Een eerste aanzet tot het integreren van het heen-en-weer denken tussen de organisatieniveaus en tussen verschijnselen in verschillende mate van abstractie, is uitgewerkt in interactief lesmateriaal dat op cd-rom werd gezet (Schuring, 2000). De bedoeling van het interactieve lesmateriaal is om leerlingen actief te betrekken bij de ontwikkeling van een systeemmodel. Hiertoe doorlopen leerlingen een aantal stappen waarbij ze geleidelijk aan vertrouwd raken met het systeemmodel en tegelijkertijd afdalen naar het cellulair niveau. Het is hierbij van belang dat leerlingen steeds op inhoudelijke gronden kunnen aangeven waar ze mee bezig zijn, namelijk het inzoomen op verschillende aspecten van het spijsverteringsproces. Wanneer leerlingen dit kunnen, is de verwachting dat ze begrippen op organismaal niveau beter aan elkaar kunnen relateren en daarin de benodigde celbiologische kennis makkelijker kunnen integreren.

Als onderwerp is voor spijsvertering gekozen. Evenals hormonale regulatie is spijsvertering een onderwerp dat betrekking heeft op alle organisatieniveaus van organisme tot cel. Het organisme neemt voedsel op dat na vertering via de bloedsomloop verspreid wordt naar alle cellen in het lichaam. Daar wordt het vervolgens gebruikt voor de energievoorziening en opbouw van de cel. Onderzoek toont echter aan dat de spijsvertering een onderwerp is waar leerlingen onvoldoende samenhang zien (Núñez en Banet, 1997; Ramadas en Nair, 1996), zelfs na het doorlopen van het voortgezet onderwijs. Als oplossing hiervoor betogen Núñez en Banet dat er meer aandacht moet zijn voor: 1) functionele relaties tussen de verschillende processen als ademhaling, vertering en bloedcirculatie, 2) de cellulaire opbouw van het lichaam en 3) de



Figuur 2. Overzicht van de redeneerlijn die gevolgd wordt in de cd-rom

relatie tussen de voedselopname van het organisme en de stofwisselingsprocessen in de cel. Met het doorlopen van het interactieve lesmateriaal verwachten we dat leerlingen hun kennis over de spijsvertering kunnen uitbreiden naar het cellulair niveau. De opzet van het onderzoek was dat bij gebleken succes het lesmateriaal kon worden geïntegreerd in de onderwijsleerstrategie voor celbiologie.

De onderzoeksvraag is als volgt geformuleerd: *Op welke wijze kunnen we een systeemmodel introduceren, waarin het accent ligt op het onderscheiden van organisatieniveaus en deel-geheel relaties, en in hoeverre leidt de gekozen aanpak tot een samenhangend begrip van de spijsvertering?*

4.1 Opbouw

De opbouw van het lesmateriaal is weergegeven in figuur 2. Het lesmateriaal begint met een oriëntatie op de spijsvertering op organismaal niveau waarbij vanuit een concrete weergave wordt toegewerkt naar een abstract systeemmodel. Vervolgens wordt afgedaald naar het orgaan- en celniveau, waarbij telkens wordt geabstraheerd tot het systeemmodel. De leerling ziet zo in dat op ieder niveau een aantal karakteristieke eigenschappen zijn aan te wijzen

en hoe deze karakteristieken modelmatig kunnen worden weergegeven. Het onderscheiden van deze kenmerken vindt zijn oorsprong in de algemene systeemtheorie van Von Bertalanffy (1968) die organismen als geneste en open systemen beschrijft (zie ook paragraaf 2). Op ieder organisatieniveau kunnen systemen worden onderscheiden die hecht met elkaar samenwerken en informatie, energie en materie uitwisselen met de omgeving.

De leerling vervult op ieder niveau een opdracht zoals het verslepen van organen naar de juiste plaats in het lichaam of het trekken van pijlen tussen organen of organellen om een onderlinge relatie aan te geven. Vervolgens wordt de stap van realistische weergave naar abstract systeemmodel gevisualiseerd door een animatie. In een slotactiviteit wordt de leerling gevraagd om de abstracte weergave van de onderdelen op de verschillende niveaus met elkaar te integreren, zodat een hiërarchisch model van het organisme ontstaat.

4.2 Resultaten

Het interactieve lesmateriaal is getest bij leerlingen uit 4 havo (vijf duo's) en 4 vwo (vier duo's). Data werden verzameld door observatie en audio-opnamen van de leerlingen tijdens het werken met de cd-rom en een interview na afloop.

Uit observatie van de leerlingen bleek dat de meeste van hen gemotiveerd aan het werk waren. In het interview achteraf waren de reacties op het lesmateriaal overwegend positief, waarbij de animaties, de vormgeving en het interactieve karakter van de cd-rom als positieve eigenschappen genoemd werden. Het abstraheren leverde geen problemen op. Opvallend was dat de meeste leerlingen aangaven dat ze de modelweergave nuttig vonden omdat het hen een overzichtelijk beeld gaf van de bouw van het lichaam. Leerlingen noemden dit inzicht vaak niet in eerste instantie, maar veelal nadat was afgedaald tot het niveau van het orgaan of de cel. Leerlingen merkten op dat het model van het orgaan of de cel *'hetzelfde is als het model van het lichaam'* wat hen stimuleerde om de kenmerken die werden onderscheiden nader te bekijken. Een aantal leerlingen gaf als nadeel dat je in het model niet meer kon zien wat het eigenlijk voorstelde. Zij prefereerden de realistische weergave waarin ze de verschillende onderdelen nog konden onderscheiden en benoemen.

Op de vraag wat leerlingen interessant vonden aan de cd-rom, werd voornamelijk het inzicht genoemd dat zowel binnen het organisme als binnen het orgaan onderdelen zijn te onderscheiden die hecht samenwerken. Leerlingen gaven aan dat ze wel meer zouden willen weten over de exacte aard van de samenwerking: *'Ik weet nu dat al die organen samenwerken, maar hoe dat nou precies gaat?'* Een dergelijke vraag naar de aard van de samenhang is een belangrijke opbrengst en vormt een belangrijke reden om aan het ontwikkelen van het systeemmodel vast te houden. Het systeemmodel geeft immers ook sturing bij het zoeken naar het hoe van de samenhang. Alhoewel leerlingen de belangrijke kenmerken konden aangeven van het systeemmodel, hadden zij moeite met het terugredeneren naar het concrete proces van de spijsvertering. Het heen-en-weer denken tussen de concrete verschijnselen en abstracte systeemmodellen is voor leerlingen dus niet makkelijk en zal in een onderwijsleerproces waarin we dit nastreven, actief moeten worden geoefend.

Concluderend kunnen we stellen dat de leerlingen door middel van het lesmateriaal de ontwikkeling van het systeemmodel goed kunnen volgen. Systeemdenken als competentie houdt ook in het terugredeneren naar het concrete verschijnsel, in dit geval spijsvertering, en daartoe lijkt het materiaal leerlingen nog onvoldoende aan te zetten. Het interactieve lesmateriaal roept wel inhoudelijke vragen op bij leerlingen omtrent de aard van de samenhang. Het zou dus kunnen worden ingezet in een leeractiviteit in de te ontwikkelen leerstrategie voor celbiologie en wel ingebed in andere leeractiviteiten. De lesmateriaal kan de leerlingen actief betrekken bij het abstraheren van de hiërarchische structuur van het lichaam als voorbereiding op het expliciteren van de organisatieniveaus. Het zal dan gevolgd moeten worden door een leeractiviteit waarin het beantwoorden van vragen omtrent de aard van de samenhang op en tussen de organisatieniveaus centraal staat. Hierbij kan voornamelijk gedacht worden aan de samenhang op cellulair niveau en de relatie tussen het cellulair niveau met de bovenliggende organisatieniveaus.

5. Voorlopige onderwijsleerstrategie: 'Van lichaam tot cel: systemen die leven!'

Uit de vooronderzoeken zijn belangrijke implicaties voor de te ontwikkelen onderwijsleerstrategie af te leiden. Uit het eerste vooronderzoek rond het onderwerp hormonale regulatie bleek dat leerlingen hun celbiologische kennis niet spontaan gebruiken. Willen we dat zij dat wel doen bij andere thema's die later in het programma aan bod komen, dan zal in de lessenreeks celbiologie dus expliciet aandacht besteed moeten worden aan de relatie tussen de cel en de bovenliggende organisatieniveaus. Het interactieve lesmateriaal laat zien dat het ontwikkelen van een systeemmodel hand in hand kan gaan met het afdalen in organisatieniveaus waarbij de cel als functioneel onderdeel wordt geïntroduceerd. Door generalisatie en abstrahering van de interne structuur van het organisme kunnen we het idee dat er organisatieniveaus kunnen worden onderscheiden zonder grote problemen ontwikkelen. Hiermee is dus een oplossing gevonden voor de vraag of de celbiologie danwel het systeemdenken als eerste behandeld zou moeten worden (zie paragraaf 2). In plaats van een keuze tussen deze twee benaderingen, is een synthese mogelijk waarbij de ontwikkeling van celbiologische kennis parallel verloopt met de ontwikkeling van de systeemtheoretische kennis. Voor het ontwikkelen van de onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem zijn de volgende inhoudelijke uitgangspunten geformuleerd:

- De cel, als basiseenheid van het leven, wordt geïntroduceerd in de vorm van een vrij levend organisme (de cel als autonome eenheid).
- Twee verschijningsvormen van de cel worden onderscheiden: de cel als autonome eenheid en de cel als functionele eenheid van het organisme.
- De onderwijsleeractiviteiten worden geordend naar organisatieniveau
- De ontwikkeling van een systeembegrip, gebaseerd op de AST, start op organismaal niveau.
- De systeemkenmerken, zoals geformuleerd in de AST, worden door abstrahering aan concrete biologische objecten of verschijnselen ontleend.
- Om een samenhangend begrip van de cel als systeem te verkrijgen wordt zowel aandacht besteed aan de samenhang op het cellulair niveau als aan de samenhang tussen het cellulair niveau en het orgaan- en organismaal niveau

- Leerlingen dienen meerdere malen heen-en-weer te denken tussen een concreet object en een abstracte weergave daarvan.

Op grond van deze uitgangspunten is de in tabel 3 weergegeven onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem ontwikkeld. Bij het ontwikkelen van de onderwijsleerstrategie is tevens gebruik gemaakt van een probleemstellende aanpak (Klaassen, 1995).

Tabel 3. Strategie voor de cel als systeem.

Vakinhoudelijke vragen	Onderwijsleeractiviteiten
Hoe verklaren we biologische verschijnselen?	<p><u>OLA 1: Opwekken van globale motivatie voor het onderwerp celbiologie</u> Klassengesprek waarin het verklaren van een biologisch verschijnsel (regeneratie van een salamanderpoot) centraal staat: -we kunnen het verschijnsel op verschillende niveaus (organisme, orgaan, cel) beschrijven -een verklaring wordt gevormd door een beschrijving van een verschijnsel op een lager niveau.</p>
Welke kenmerken (naast regeneratie) hebben planten en dieren gemeenschappelijk?	<p><u>OLA 2: Denken-Delen-Uitwisselen opdracht over de levenskenmerken:</u> De leerlingen formuleren de levenskenmerken op basis van overeenkomsten tussen planten en dieren. De docent reflecteert in een klassengesprek op de levensfuncties en benadrukt de bouw van organismen en de wisselwerking (uitwisseling van materie en informatie) met de omgeving.</p>
Gelden de levenskenmerken ook voor eencellige organismen?	<p><u>OLA 3: Introductie van de cel als organisme</u> De leerlingen lezen een tekst over het kleinste bestaande eencellige organisme en passen de levenskenmerken toe op het eencellige organisme.</p>
Hoe vervult een ééncellig organisme de levensfuncties?	<p><u>OLA 4: Microscopiepracticum gericht op de levensfuncties.</u> De leerlingen bekijken het pantoffeldiertje onder de microscoop en reflecteren op de vorige opdracht. In een klassengesprek wordt gereflecteerd op de waarnemingen met de nadruk op de structurele kenmerken van de cel.</p>
Welke functies vervullen de verschillende onderdelen in <i>Paramecium</i> ?	<p><u>OLA 5: Vergelijking tussen het meercellig en eencellig organisme.</u> De leerling vergelijkt een schematische weergave van het pantoffeldiertje met die van het lichaam. Bij de naam en vorm van ieder organel bedenkt ze welke functie het organel vervult, waarbij ze gebruik maakt van de analogie tussen de functie van organellen en organen. Vervolgens gaan leerlingen dieper in op de stofwisseling bij het pantoffeldiertje waarbij de nadruk ligt op de opname en afgifte van stoffen en de relaties tussen verschillende organellen. Opnieuw wordt gebruik gemaakt van de vergelijking met het verteringsproces in het menselijk lichaam.</p>

	<p><u>OLA 6: Reflectie en introductie van een algemeen organismemodel</u></p> <p>De docent reflecteert middels een klassengesprek op de levensfuncties die vervuld worden door functionele onderdelen in het lichaam. De modellen van het eencellig- en meercellig organisme worden verenigd in een algemeen organismemodel. De docent leidt tevens de inhoudelijke vraag van de volgende leeractiviteit in.</p>
Geldt het ontwikkelde model eveneens voor de cel als onderdeel van een organisme?	<p><u>OLA 7: interactieve opdracht met cd-rom: Modellen: van lichaam tot cel.</u></p> <p>Leerlingen doorlopen in duo's de cd-rom. In een klassengesprek wordt de cd-rom besproken waarbij de docent de organisatieniveaus expliciteert. Het abstraheren wordt nader toegelicht waarbij het als systeemdenken nader wordt omschreven: Het model wordt omschreven als systeemmodel vanwege het feit dat het op ieder levend object van toepassing is en niet alleen op het organisme.</p>
Hoe vervult een cel als onderdeel de levensfuncties?	<p><u>OLA 8: Toepassing van het systeemmodel op de cel als onderdeel.</u></p> <p>Aan de hand van het systeemmodel wordt een aantal vragen over de cel geformuleerd. Leerlingen beantwoorden deze vragen in groepjes van drie waarbij ze een specifiek organel uitdiepen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van bronnen als internet en het schoolboek. De resultaten worden klassikaal gepresenteerd waarbij klassikaal een model van de cel wordt getekend op sheet. De docent reflecteert op de belangrijkste kenmerken van het model en op de overeenkomsten en verschillen met het systeemmodel.</p>
In hoeverre is een cel als onderdeel van het organisme zelfstandig?	<p><u>OLA 9: Schriftelijke opdracht omtrent de relatie cel-organisme.</u></p> <p>Leerlingen maken een schriftelijke opdracht en discussiëren in groepjes van drie de onderlinge afhankelijkheid van de cel en het organisme. Vervolgens maken ze een schriftelijke opdracht over stamcellen waarbij dieper wordt ingegaan op het proces van celspecialisatie in het lichaam.</p> <p>De opdracht wordt klassikaal besproken.</p> <p><u>OLA 10: Klassikale reflectie op het afgelegde leertraject</u></p>

7. Discussie

De strategie geeft een aantal onderwijsleeractiviteiten aan die in totaal negen lessen in beslag zullen nemen. De redeneerlijn die is gevolgd dient de ontwikkeling van de gewenste celbiologische en systeemtheoretische kennis op een voor leerlingen logische manier te laten verlopen. Zoals te zien is in de linkerkolom, wordt de redeneerlijn voornamelijk gevormd door inhoudelijke vragen. Na het oproepen van een globale interesse in het onderwerp volgt een aanloop naar een eerste systeembegrip op organismaal niveau. Het vervullen van de levensfuncties fungeert hierbij als betekenisvolle leidraad. Centraal in deze fase staat de wisselwerking van het organisme met de omgeving en de hiërarchische opbouw (in organen en cellen). Vervolgens wordt er gekeken naar het pantoffeldiertje als eencellig organisme, waaruit blijkt op welke manier eerder

genoemde levensverschijnselen ook door een enkele cel vervuld kunnen worden.

De volgende stap is naar een hoger niveau van abstractie. De levenskenmerken worden samengevat in een algemeen model van een organisme. Het model fungeert in een volgende activiteit als handvat om naar cellen van meercellige organismen te kijken. Hiermee ontstaat een algemeen beeld van een typische eukaryote cel (= cel met kern) waarbij de aandacht voornamelijk uitgaat naar de autonomie van de cel. Als leerlingen vervolgens een aantal elektronenmicroscopische plaatjes bekijken blijkt dat er veel verschillende soorten cellen te bestaan. Om de verschillen en de specifieke kenmerken van verschillende cellen te verklaren, wordt gekeken naar de functie van de cellen voor het organisme. Dit vorm-functie perspectief biedt een leidraad bij het heen en weer denken tussen organisatieniveaus (zie ook Janssen, 1999), en is door Knippels (2002) omschreven als jojo-leren. Als laatste inhoudelijk punt in de lessenreeks komt het belang van organisatie in weefsels en organen aan de orde.

Bovenstaande strategie is het resultaat van een planmatig en creatief proces waarin is nagedacht over hoe de bestaande problemen in het celbiologieonderwijs kunnen worden opgelost. Bovendien is het een eerste stap in de ontwikkeling van een systeembegrip dat voor leerlingen aan het begin van 4 vwo hanteerbaar is. De strategie is de eerste versie van een onderwijsleerstrategie voor de cel als systeem die binnen het kader van dit promotieonderzoek is ontwikkeld en beproefd. We verwachten niet dat we met bovenstaande strategie alle genoemde leerproblemen kunnen oplossen. Het voornaamste doel van deze eerste strategie is om ideeën te genereren voor het aanscherpen van de strategie in een tweede testronde.

Om het feitelijke onderwijsleerproces in die tweede testronde te kunnen analyseren hebben we van tevoren een aantal te verwachten (knel)punten geformuleerd die de aandacht verdienen. Een belangrijk punt van aandacht is of de inhoudelijke redeneerlijn leerlingen voldoende motief biedt om het systeemmodel te hanteren. In hoeverre nemen leerlingen het model ter hand wanneer ze lichaamscellen gaan bekijken? Kunnen leerlingen het model toepassen? Dit zal voornamelijk moeten blijken bij de opdracht waarbij leerlingen organellen uitdiepen (onderwijsleeractiviteit 8). Daarbij gaat het met name om het zien van horizontale samenhang op cellulair niveau. Een volgend stadium richt zich op de vraag omtrent de verticale samenhang: In hoeverre kan de leerling de celbiologische kennis die hij heeft opgedaan, koppelen aan verschijnselen op organismaal niveau? Deze vraag kunnen we niet volledig beantwoorden op basis van een lessenreeks celbiologie omdat we niet mogen verwachten dat het systeemdenken als competentie ontwikkeld kan worden binnen het bestek van een enkele lessenreeks. Willen we bereiken dat leerlingen het systeemdenken kunnen inzetten bij de ontwikkeling van kennis over nieuwe biologische objecten en verschijnselen, dan zal hier gedurende latere thema's in het curriculum op moeten worden teruggegrepen. Het ontwikkelde systeemmodel kan hierbij als brug fungeren, bijvoorbeeld door leerlingen het model te laten toepassen binnen verschillende thema's. Zo kunnen leerlingen bijvoorbeeld kennis ontwikkelen over de hormonale regulatie (zie paragraaf 3) door het systeemmodel toe te passen op de regelkring, waarbij de verschillende organen en de relaties daartussen worden geëxpliciteerd.

English summary

Towards a learning and teaching strategy for the cell as a system.

In cell biology courses students are taught a large variety of life structures and processes at the cellular level, but many students fail to acquire coherent conceptual understanding of the cell as a basic unit of the organism. As a consequence, conceptual problems arise when studying other biological topics as well. To enhance the coherence in learning and teaching (cell) biology we introduce systems thinking as a key competence. A main characteristic of systems thinking is distinguishing and relating the various levels of biological organisation, i.e. molecules, cells, organs, organisms and populations. This article describes the development of a preliminary learning and teaching strategy for the cell as a system, based on criteria derived from two explorative studies concerning endocrine regulation (hormones) and modelling the human body.

Literatuur

- Aalsvoort, J.G.M.van (2000). *Chemistry in Products. A cultural-historical approach to initial chemical education*. Utrecht: Universiteit Utrecht.
- Bahar, M., Johnstone A.H. and Hansell, M.H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of biological Education*, 33, 84-86.
- von Bertalanffy, L. (1968). *General systems theory; foundations, development, applications*. New York: Braziller.
- Boersma, K.Th. (1997). *Systeemdenken en zelfsturing in het biologieonderwijs*. Oratie Universiteit Utrecht.
- Boersma, K.Th. (1999). *Een theorie voor leren systeemdenken. Ontwerp van een leerlijn*. Utrecht: Didactiek van de Biologie (interne publicatie).
- Boersma, K.Th. (2000). Verscheidenheid in eenheid. In: 'Leren Motiveren', *Verslag 14^e NIBI/NVON-conferentie, 14-15 januari 2000 te Lunteren*, (pp. 21-29).
- Boersma, K.Th. (2001). Het biologieprogramma in de 21^e eeuw. *NVOX*, 26, 312-317.
- Goldstone, R.L. & Barsalou, L.W. (1998). Reuniting perception and conception. *Cognition*, 65, 231-262.
- Douvdevany, O., A. Dreyfus, & Jungwirth, E. (1997). Diagnostic instruments for determining junior high-school science teachers' understanding of functional relationships within the 'living cell'. *International Journal of Science Education*, 19, 593-606.
- Dreyfus, A. & Jungwirth, E. (1989). The Pupil and the Living Cell; A Taxonomy of Dysfunctional Ideas about an Abstract Idea. *Journal of biological Education*, 23, 49-55.
- Hempel, C.G. (1973). *Filosofie van de natuurwetenschappen*. Utrecht: Het Spectrum.
- Janssen, F.J.J.M. (1999). *Ontwerpend leren in het biologieonderwijs. Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs*. Utrecht: CDβ-Press.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Utrecht: CDβ-Press.
- Knippels, M.C.P.J. (2002) *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education. The yo-yo learning and teaching strategy*. Utrecht: CDβ-Press.

- Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW) (1997). *Biologie: het leven centraal. Eindrapport van de verkenningscommissie biologie*. Amsterdam: KNAW.
- Lijnse, P.L. (1995). "Developmental Research" As a Way to an Empirically Based "Didactical Structure" of Science. *Science Education*, 79, 189-199.
- van Maanen, R. (2001). *Introductie van celbiologie bij middelbare scholieren vanuit een systeemtheoretisch perspectief*. Utrecht: Didactiek van de Biologie (interne publicatie).
- Markman, E.M. (1990). Constraints children place on word meanings. *Cognitive Science*, 14, 57-77.
- Núñez, F. & Banet, E. (1997). Students' conceptual patterns of human nutrition. *International Journal of Science Education*, 19, 509-526.
- Ramadas, J. & U. Nair (1996). The system idea as a tool in understanding conceptions about the digestive system. *International Journal of Science Education*, 18, 355-368.
- Roebertsen, H. (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis. Ontwikkeling en onderzoek van een curriculum rond het thema 'lichaamsprocessen en vergift'*. Utrecht: CDβ-Press.
- Schuring, M. (2000). *Systeemdenken met cd-rom*. Utrecht: Didactiek van de Biologie (interne publicatie).
- Songer, C.J. & Mintzes, J.J. (1994) Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 621-637.
- Verhoeff, R.P., Waarlo, A.J. & Boersma, K.Th. (2001). Systems theory based approach to learning and teaching cell biology in upper-secondary biology education. In: R.H. Evans, A. Moller Anderson and H. Sorensen (Eds.), *Bridging Research Methodology and Research Aims. Proceedings of the 5th European Science Education Summer school (ESERA), Gilleleje, Denmark, September 6th–13th, 2000*, (pp. 332-339). Copenhagen: The Danish University of Education.
- Vollebregt, M.J. (1998). *A problem-posing approach to teaching an initial particle model*. Utrecht: CDβ- Press.
- Walgenbach, W. (1996). *Interdisziplinäre System-Bildung. Ein didaktischer Ansatz auf der Grundlage einer aktualisierten Theorie der kategorialen Bildung*. Hamburg: Universität Hamburg (Habilitationsschrift).