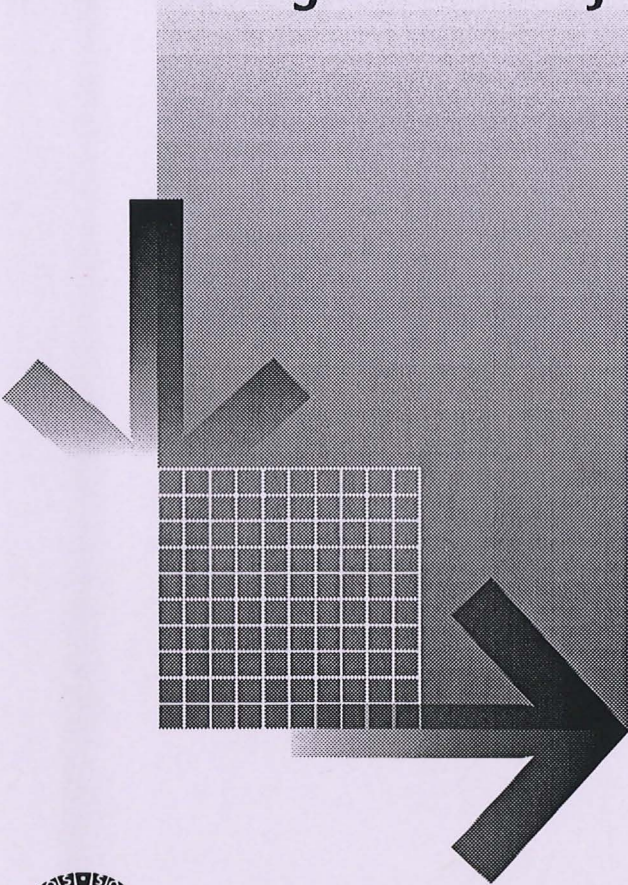


K. Th. Boersma

Systeendenken en zelfsturing in het biologie-onderwijs



Universiteit Utrecht



Centrum voor Didactiek van
Wiskunde en Natuurwetenschappen

Systeemdenken en zelfsturing in het biologie-onderwijs

*Oratie uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de
Didactiek van de biologie aan
de Faculteit der Biologie van de Universiteit Utrecht
op woensdag 26 november 1997*

door

Kerst Thomas Boersma

8 december 1997

Inhoudsopgave

1.	Introductie	5
2.	Afbakening van een systeembenadering voor het biologie-onderwijs	7
3.	Onderzoek naar systeemdenken in het biologie-onderwijs	11
4.	Sturing van leerprocessen	13
4.1.	Theoretische fundering van leren systeemdenken	13
4.2.	Systeemtheoretische opvattingen over leren	15
4.3.	Sturing van het leerproces	17
5.	Pedagogische-didactische uitgangspunten	19
5.1.	Sturingsopties	19
5.2.	Verdeling van de sturing	20
5.3.	Een didactiek van zelfsturing	22
6.	Afronding	25
7.	Dankwoord	27
8.	Literatuur	35

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,'

1. Introductie

Sinds enkele jaren gaat de discussie over de inhoud van het vak biologie in het voortgezet onderwijs niet meer alleen over de biologische inhoud. Betoogd wordt dat door de snelheid waarmee onze samenleving zich ontwikkelt, leerlingen zich met hun opleiding niet meer voor de rest van hun leven kunnen kwalificeren. Het voortgezet onderwijs moet leerlingen daarom voorbereiden op levenslang leren door ze te leren leren.

Deze argumentatie is zo plausibel, dat het begrijpelijk is dat op het voornemen om aandacht aan leren leren te besteden veelal positief is gereageerd. We moeten ons echter wel afvragen wat de consequenties van de introductie van leren leren voor het vakonderwijs zijn.

Een consequentie is in ieder geval dat er, omdat leren leren ook tijd kost, minder tijd beschikbaar is voor het verwerven en toepassen van vakspecifieke inzichten. We zouden dan ook mogen verwachten dat vakspecifieke inzichten opnieuw zorgvuldig worden afgewogen. Tot nu toe is dat echter nog niet als serieus aandachtspunt gesignaleerd. De aandacht gaat vooral uit naar het 'inzakken' van leren leren in de vakken en niet naar de vakinhoud. De suggestie wordt daardoor gewekt dat het verwerven en toepassen van vakspecifieke inzichten voor leren leren maar weinig betekenis heeft. De vakinhoud dreigt in het studiehuis de sluitpost van de redenering te worden. Met als gevolg dat ook de vakdidactiek als 'een vergeten fundament' (Lijnse, 1997) buiten beeld raakt.

De vraag is natuurlijk of deze veronderstellingen wel juist zijn, of schoolvakken als biologie geen inzichten te bieden hebben die een levenslange looptijd hebben. Kunnen niet juist vakinzichten fungeren als ankerpunten voor toekomstig leren? Neemt de doelmatigheid van leren leren niet juist toe als we er in slagen deze ankerpunten in leren leren te integreren?

Ik ben me er van bewust dat het op retorische wijze stellen van deze vragen impliceert dat ik ze met 'ja' beantwoord. Ik zal betogen dat het leren systeemdenken niet alleen voor het biologie-onderwijs, maar ook voor het leren leren in het studiehuis van veel betekenis kan zijn.

Eerst zal ik met u uitwerken wat ik onder een systeemdenken voor het biologie-onderwijs wil verstaan. Daarna ga ik dan in op de vraag welke leerstrategieën bij het aanleren en toepassen van een systeembenadering kunnen worden gehanteerd. We komen daarbij uit op de sturing van het leerproces. Dat is een van de punten die in discussies over de uitwerking van het studiehuis naar mijn mening terecht veel aandacht krijgt.

2. Afbakening van een systeembenadering voor het biologie-onderwijs

Een van de belangrijkste inzichten die de biologie te bieden heeft is het inzicht dat biologische objecten als systemen kunnen worden gezien. Biologische systemen beschikken over eigenschappen die gelden voor alle biologische systemen, of het nu gaat om cellen, organismen, ecosystemen of de biosfeer. Ieder biologisch systeem kunnen we zien als een van zijn omgeving te onderscheiden eenheid die zich zelf in stand houdt.

Het belang van systeemdenken, en daar bedoel ik het toepassen van een systeembenadering mee, reikt verder dan de biologie. Het is niet alleen van belang voor onze kijk op de biologische werkelijkheid, ook voor onze kijk op de sociale werkelijkheid is het van groot belang, omdat we ook sociale structuren, zoals gezinnen, schoolklassen en bedrijven als systemen kunnen zien.

Het schoolvak biologie is bij uitstek het vak waarin systeemdenken kan worden geleerd en beoefend. Het ligt dan ook voor de hand om daar in het studiehuis aandacht aan te besteden.

Nu zal duidelijk zijn dat de mogelijkheden daartoe in sterke mate bepaald worden door wat in de examenprogramma's staat. Belangwekkend is nu dat systeemdenken expliciet wordt genoemd in de voorstellen voor nieuwe examenprogramma's voor biologie, die in het kader van de ontwikkeling van profielen voor de bovenbouw havo/vwo zijn samengesteld, en die onlangs als advies aan de minister zijn aangeboden. De omschrijving van systeemdenken daarin is echter zo globaal, dat het noodzakelijk is om te preciseren welke systeembenadering willen we hanteren. Kiezen we de Algemene Systeemtheorie? De cybernetica? Of de recentere dynamische systeemtheorie?

Van belang is dat in het nieuwe examenprogramma systeemdenken als een vaardigheid wordt gepresenteerd die in samenhang met de meer specifieke eindtermen moet worden uitgewerkt. Het systeemdenken moet een toegevoegde waarde aan de biologische inhoud bieden. Laten we deze redenering volgen.

We zien dan dat, als we het over de structuur van biologische systemen hebben, het de voorkeur verdient gebruik te maken van de Algemene Systeemtheorie Von Bertalanffy, 1968; Koestler, 1978). We laten dan zien dat in ieder biologisch object meerdere organisatie-niveau's kunnen worden onderscheiden en dat ieder systeem gelijktijdig ook een deelsysteem van een systeem van hoger orde is. Een cel is zowel een autonoom systeem als een bouwsteen van een weefsel. In de Algemene Systeemtheorie worden biologische systemen als open systemen gezien, met input en output van stoffen, energie en informatie.

Wanneer echter niet de nadruk ligt op de structuur, maar op de manier waarop biologische systemen zich in stand houden, ligt het voor de hand gebruik te maken van de cybernetica (Wiener, 1948; Asby, 1956). Daarin staat regulatie, of homeostase, van biologische systemen centraal. Daarmee bedoelen we de manier waarop evenwichtssituaties in stand worden gehouden. Voorbeelden daarvan zijn het op peil houden van de samenstelling van ons bloed en het in stand houden van onze lichaamstemperatuur.

Zodra we het hebben over ontwikkeling of evolutie van biologische systemen is het daarentegen functioneel gebruik te maken van het inzicht en de taal die de dynamische systeemtheorie (Prigogine & Stengers, 1985; Gleick, 1988; Thelen & Smith, 1984) ons biedt. Daarin wordt benadrukt dat structuur en gedrag het gevolg zijn van voortdurende interactie tussen het systeem en zijn omgeving. Dat zien we bijvoorbeeld in de cel. Het celmembraan ontstaat door stofwisseling in een cel die al over een celmembraan beschikt. De cel kunnen we als een voorbeeld zien van een zichzelf organiserend, een zogenoemd autopoietisch, systeem (Maturana & Varela, 1988). De dynamische systeemtheorie laat zien dat in de ontwikkeling van biologische systemen tijdelijk min of meer stabiele structuren of gedragspatronen kunnen ontstaan, die attractoren worden genoemd. Op andere momenten kan de ontwikkeling echter een onvoorspelbaar verloop hebben. In de dynamische systeemtheorie, of chaostheorie, zoals deze theorieën aanvankelijk werden genoemd, ligt de nadruk op de ontwikkeling van het nieuwe, het onvoorspelbare. Orde ontstaat uit chaos.

Wat ik heb willen laten zien is dat de drie systeembenaderingen ieder hun eigen betekenis hebben en hun eigen systeembegrippen kennen. De vraag welke van de drie systeemtheorieën voor leerlingen het meest functioneel is, hangt dus af van het gezichtspunt van waaruit we naar biologische systemen kijken.

Zolang zowel de structuur, als de regulatie, als de ontwikkeling van biologische systemen in het biologieprogramma aan de orde komen, heb ik er een voorkeur voor om alle drie de systeemtheorieën aan te bieden en het van het biologische thema af te laten hangen welke daarvan wordt uitgewerkt.

Deze eclectische benadering van de keuze voor systeemtheorie zie ik als de meest relevante systeembenadering voor het biologie-onderwijs ¹.

We moeten ons daarbij overigens wel realiseren dat we niet kunnen volstaan met het introduceren van een systeembenadering. Het gaat, volgens het nieuwe examenprogramma om het kunnen systeemdenken, de betekenis van de systeembenadering zit in de toepassing. Ook de toepassing, het systeemdenken zelf moet dus in het biologieprogramma aan de orde komen.

De kracht van het systeemdenken is dat we daarmee in staat zijn in algemene termen over biologische objecten en processen te spreken. De kracht zit dus in de abstractie. De modellen die in de verschillende systeemtheorieën worden gehanteerd, zijn in principe op alle biologische systemen van toepassing. Ik noem deze modellen daarom metamodelen. Als we leerlingen vragen een systeembenadering te hanteren, vragen we hen feitelijk heen-en-weer te denken tussen deze metamodelen en concrete biologische objecten en processen (Schaefer, 1989). Ze zullen dan merken dat het in veel gevallen gewenst is om een metamodel te bewerken tot een model dat beter bij het concrete object past. Ze leren dan dat er een groot verschil is tussen een cybernetisch model van een cel en een cybernetisch metamodel. Een cybernetisch model van een cel ontwerpen we door een systeemtheoretisch metamodel toe te snijden op algemene kenmerken van de cel. Bij het bestuderen van een concrete cel of celtype zullen we dan heen-en-weer-denken tussen de concrete cel en het geconstrueerde cybernetische model.

Als leerlingen kunnen heen-en-weer denken tussen objecten en systeemmodellen, kunnen we verwachten dat zij, beter dan daarvoor, de samenhang zien tussen biologische objecten en processen. Ze kunnen de systeembenadering dan als een metacognitief instrument (Schaefer, 1989) gebruiken en beter hun eigen leerproces reguleren (Ramadas & Nair, 1996).

We kunnen de vraag wat leerlingen aan systeemdenken hebben, ook beantwoorden door ons af te vragen in hoeverre het helpt de problemen op te lossen die zich in de praktijk van nu voordoen.

Als we afgaan op resultaten van biologie-didactisch onderzoek valt op dat tekorten in de kennis van leerlingen ten aanzien van onderwerpen op organismaal niveau, als voeding (Núñez & Banet, 1997), spijsvertering (Ramadas & Nair, 1996) en afweer tegen giften (Roebertsen, 1996), terug te voeren zijn op het onvoldoende zien van samenhang.

Een goed voorbeeld van zo'n onderzoek is het recente onderzoek van Núñez & Banet (1997). In dit onderzoek werd de kennis over voeding onderzocht van leerlingen uit de bovenbouw van het basisonderwijs en leerlingen van verschillende leeftijdsgroepen uit het voortgezet onderwijs. Door hun kennis over voeding te analyseren konden de onderzoekers zes kennispatronen onderscheiden, die van elkaar verschillen in de mate van samenhang tussen bij voeding betrokken processen. Aanvankelijk worden spijsvertering en ademhaling niet met elkaar in verband gebracht. De relatie tussen spijsvertering en bloedsomloop wordt wel gelegd, maar dat bloedsomloop iets met organen of cellen te maken zou kunnen hebben wordt niet ingezien. Naarmate de leerlingen ouder zijn en meer biologie-onderwijs hebben gevolgd, brengen zij meer processen met elkaar in verband en leggen zij meer relaties tussen processen op organismaal en cellulair niveau.

De conclusie die ik uit dit onderzoek trek is, dat als leerlingen samenhangen tussen fysiologische processen moeten zien, we er ook voor moeten zorgen dat daar in het programma voldoende nadruk op wordt gelegd. Mijn veronderstelling is nu dat leerlingen, door expliciet systeemtheoretische modellen te gebruiken, beter de samenhang tussen bij voeding betrokken processen zien.

3. Onderzoek naar systeemdenken in het biologie-onderwijs

Het zal u niet verbazen dat ik het belang van het leren systeemdenken in het biologieprogramma voor havo/vwo zo groot vind, dat ik het biologie-didactisch onderzoek de komende jaren zou willen richten op de ontwikkeling van een theorie voor het leren systeemdenken in het biologie-onderwijs.

Wat moeten we ons daar nu bij voorstellen? Naar mijn mening moeten we het systeemdenken als een rode draad door het hele biologieprogramma zien. Dat betekent dat de systeembenadering systematisch moet worden ingebed, zorgvuldig moet worden geïntroduceerd, uitgebreid en toegepast op de biologische onderwerpen die nog aan de orde moeten komen. Het ligt met andere woorden voor de hand om de nieuwe examenprogramma's tot een vanuit systeemtheoretisch perspectief opgebouwd leerplan uit te werken. Dat leerplan geldt dan als een set hypothesen, die met ontwikkelingsonderzoek op houdbaarheid kunnen worden beproefd. Met ontwikkelingsonderzoek bedoel ik dan dat in samenspraak met leraren en leerlingen leer- en instructiemateriaal wordt ontwikkeld dat in leersituaties wordt uitgetest. Het uittesten van het leermateriaal leidt niet alleen tot toetsing van de hypothesen, maar ook tot kennis over de manier waarop de gekozen systeemtheoretische begrippen en -modellen kunnen worden ontwikkeld. Het onderzoek leidt op microniveau tot didactische structuren en op macroniveau tot een beproefd leerplan of vakstructuur (De Vos & Verdonk, 1991). Dit leerplan en de getoetste didactische structuren vormen samen de theorie voor systeemdenken.

Een aantal hypothesen die in een leerplan systeemdenken kunnen worden uitgewerkt wil ik noemen. Ik veronderstel dat het leren systeemdenken wordt bevorderd

- door meerdere systeembegrippen expliciet te introduceren (Boersma & Schouw, 1988);
- door systeembegrippen te introduceren nadat leerlingen voldoende vertrouwd zijn met de biologische objecten waar de systeembegrippen betrekking op hebben (Schaefer, 1989);
- door de begrippen eerst op organismaal of cellulair niveau te introduceren omdat dan aangesloten kan worden op wat als biologische object kan worden waargenomen (Buddingh', 1997), en
- door de systeembegrippen na introductie toe te passen en uit te breiden.

Bij constructie van een leerplan voor systeemdenken is het uiteraard van belang gebruik te maken van beschikbare ideeën, lesmateriaal² en onderzoek. Ideeën en lesmateriaal die van belang kunnen zijn, zijn vooral ontwikkeld door de vakgroep Didactiek van de biologie van de Universiteit Utrecht en het Institut für die Paedagogik der Naturwissenschaften (IPN) in Kiel.

Op het IPN werkten aan het eind van de zeventiger en begin tachtiger jaren Schaefer, Eulefeld en Bayrhuber aan de uitwerking van de cybernetica in het biologie-onderwijs (Eulefeld & Schaefer, 1978; Bayrhuber & Schaefer, 1980). Na het verschijnen van het boek *The self-organizing universe* van Jantsch (1980), verschoof de aandacht van het IPN naar uitwerking van de chaostheorie (Walgenbach, 1986, 1991; Duit & Komorek, 1997), al was dat niet binnen het biologie-onderwijs.

Het IPN heeft tot nu toe geen aandacht geschonken aan een eclectische systeembenadering. Een dergelijke benadering werd tot nu toe alleen uitgewerkt door Boersma & Schouw (1988), die een structuur voor een systeembenadering op ecosysteemniveau ontwierpen, op basis van op verschillende systeemtheorieën gebaseerde concepties van de begrippen ecosysteem, kringloop en evenwicht.

De vakgroep Didactiek van de biologie heeft in het kader van het Project Bovenbouw Biologie lesmateriaal ontwikkeld waarin het cybernetische begrip homeostase op organismaal niveau werd uitgewerkt (Buddingh' et al., 1992; Voogt et al., 1992). Het promotieonderzoek van Buddingh' (1997) laat zien dat meer dan de helft van de 5VWO-leerlingen met het ontwikkelde lesmateriaal adequate kennis van het begrip homeostase verwerven. Uit de verzamelde gegevens is echter niet goed op te maken waar het leereffect nu aan kan worden toegeschreven en welke leerproblemen de leerlingen ondervonden die na afloop niet over de gewenste kennis beschikten. Bovendien blijkt dat slechts een gering aantal leerlingen na afloop het begrip 'levend systeem' met systeembegrippen te associëren. Het onderzoek illustreert dat nog veel onbekend is over de wijze waarop leerlingen een systeembenadering kunnen leren hanteren. Een theorie over het leren systeemdenken moet daar het antwoord op geven.

4. Sturing van leerprocessen

4.1. Theoretische fundering van leren systeemdenken

Als we een theorie voor het leren systeemdenken willen ontwikkelen, is het gewenst om deze theorie aan te laten sluiten bij meer algemene leertheorieën of opvattingen over leren.

De laatste 20 jaar worden, zeker door onderzoekers van het natuurwetenschappelijk onderwijs, constructivistische opvattingen breed onderschreven (Duit, 1994). De laatste jaren zijn echter ook situatieve opvattingen in opkomst. Op beide zal ik nader ingaan. Omdat ik in het voorafgaande echter zo de relevantie van systeemtheorie heb benadrukt, wil ik, al was het maar uit het oogpunt van consistentie, leren ook vanuit systeemtheoretisch perspectief bezien. Ik zal bij mijn bespreking van de verschillende standpunten met name aandacht besteden aan het probleem van de sturing van het leerproces. Immers, het gaat in de didactiek niet om het verloop van het leerproces, maar om de wijze waarop leerprocessen kunnen worden beïnvloed en leeromgevingen kunnen worden ingericht om leerlingen een optimaal leerresultaat te laten behalen. Ik ga nu eerst in op het constructivisme.

Het constructivisme ziet leren als een actief proces van constructie, dat leidt tot uitbreiding of verandering van de cognitieve structuur³. Met de kennis waarover we al beschikken construeren we niet alleen nieuwe kennis, maar interpreteren we ook de werkelijkheid. Dat kan er toe leiden dat leerlingen en leraren kennis hanteren, ik noem dat concepties, die afwijken van geaccepteerde wetenschappelijke concepties. Met name het natuurkunde-didactisch onderzoek heeft zich herhaaldelijk gericht op het omvormen van concepties die weliswaar in onze leefwereld functioneel zijn (Solomon, 1983; Lijnse, 1986), maar wetenschappelijk gezien niet door de beugel kunnen. De resultaten van dergelijk onderzoek zijn vaak teleurstellend. Concepties van leerlingen blijken in veel gevallen resistent te zijn tegen pogingen om ze te verwijderen of om te vormen. Niet de leraar construeert de kennis van de leerlingen, dat kunnen ze alleen zelf. Dat staat natuurlijk wel op gespannen voet met de wens van de leraar dat leerlingen de wetenschappelijk geaccepteerde concepties verwerven (Lijnse, 1995). Freudenthal (1991; zie ook Gravemeijer, 1994) heeft als oplossing voor dit probleem het zogenaamde 'reinvention'-principe bepleit: de leerling krijgt een reeks leeractiviteiten aangeboden die er toe moeten leiden dat de bedoelde conceptie al doende wordt geconstrueerd.

Het constructivisme wijst ons op het onbedwingbaar vermogen van mensen hun eigen werkelijkheid te construeren, en roept de vraag op in hoeverre het mogelijk is om dat in door anderen gewenste banen te leiden. In sommige gevallen wordt de gewenste begripsopbouw verhinderd doordat kennis die in leefwereldcontexten functioneel is, interfereert met wat nieuw wordt aangeboden. Juist op dit contextafhankelijke karakter van onze kennis wordt de nadruk gelegd in de theorie over 'situated cognition'.

In de theorie over 'situated cognition' (Rogoff & Lave, 1984; Lave, 1993), die als aanvulling op het constructivisme wordt gezien (Cobb, 1994), wordt leren als een proces van enculturatie opgevat. Niet het individuele leerproces, maar de leef- of werkgemeenschap waarbinnen het leren plaatsvindt, wordt als referentiepunt gekozen (Greeno, 1997). Doordat kennis binnen gemeenschappen of contexten wordt geconstrueerd, is kennis ook in meer of mindere mate contextspecifiek. Als gevolg daarvan is kennis die in de ene context functioneel is dat niet zonder meer in een andere context. Deze redenering leidt tot herformulering van twee bekende problemen.

Het eerste probleem is het hiervoor aangeduide leerprobleem. Doordat we niet zien dat onze leefwereldkennis contextspecifiek kan zijn, lopen we de kans dat we bij het construeren van nieuwe kennis gebruik maken van kennis die in een nieuwe context niet functioneel is en dat we problemen hebben bij het verwerven van geaccepteerde wetenschappelijke concepties.

Het tweede probleem is het transferprobleem. Dat doet zich voor als leraren of onderwijsontwikkelaars er van uitgaan dat wat we geleerd hebben als vanzelfsprekend ook in andere contexten kan worden toegepast. Sommige aanhangers van de situatieve opvatting zijn van mening dat leren zo contextspecifiek is dat het maar de vraag is of transfer mogelijk is (Lave, 1993). Algemene vaardigheden als probleemoplossen zien zij dan ook als een mythe (Henessy et al., 1993)⁴. Anderen (bijv. Greeno, 1997) nemen daar een milder standpunt over in.

Als we het voorafgaande samenvatten, kunnen we concluderen dat het constructivisme en de situatieve benadering ons drie dingen leren die van belang zijn voor het leren systeemdenken. Ten eerste zullen we in ons onderwijsaanbod rekening moeten houden met de voorkennis van leerlingen. Ten tweede moeten we er van uitgaan, dat als zij binnen het biologie-onderwijs hebben leren systeemdenken, zij dat niet vanzelf in andere contexten zullen doen.

En ten derde moeten leerlingen leren dat systeemdenken in verschillende contexten ook een verschillende betekenis en uitwerking kan hebben. Ze moeten met andere woorden leren zien dat kennis en de betekenis van kennis contextbepaald kunnen zijn.

Om een scherper beeld te krijgen van de mogelijkheden en beperkingen om leerlingen te leren systeemdenken, ga ik nu eerst nader in op enkele systeemtheoretische opvattingen over leren.

4.2. Systeemtheoretische opvattingen over leren

Een van de dingen die de Algemene Systeemtheorie ons leert, is dat in de organische wereld systeemniveau's kunnen worden onderscheiden en dat het noodzakelijk is om de systeemniveau's niet met elkaar te verwarren ⁵. Dat betekent dat we met betrekking tot leren een logisch onderscheid moeten maken tussen:

- de activiteit van onze neurale netwerken;
- onze conceptuele en procedurele kennis;
- ons leerproces als adaptief proces binnen een leeromgeving;
- het onderwijsleerproces waarbij leraren ons leerproces en dat van anderen trachten te sturen of te beïnvloeden.

Als we als we deze organisatieniveau's onderscheiden, is de vraag waar we ons beginpunt van redenering kiezen. Zoeken we verklaringen voor het leerproces in ons interne milieu, of in de manier waarop onze leeromgeving in elkaar zit ⁶?

Bijna 30 jaar geleden betoogde Simon (1969) dat de complexiteit van ons gedrag een afspiegeling is van de complexiteit van onze omgeving. De grilligheid van het pad van de mier vloeit niet voort uit de loopgewoonten van de mier, maar uit de interactie van zijn pad met de oneffenheden van de bodem. De fysiologie, en met name de neurofysiologie, geeft volgens Simon slechts de grenzen van de aanpassing aan. Dat betekent dat het gedrag van de mens, zoals dat in het externe milieu tot uitdrukking komt, neurofysiologisch verklaard moet kunnen worden, maar niet andersom. Frijda betoogde, op grond van deze argumentatie van Simon, dat geen fundamentele leertheorie mogelijk is, die dat wat een leerling doet of moet doen afleidt uit de eigenschappen van de mens als lerend systeem (Frijda, 1981).

Dat betekent dat als we het pad van de mier willen geleiden naar systeemdenken, we ons moeten richten op het inrichten van het pad. Het is de taak van de didactiek van de biologie om zodanige activiteiten te ontwerpen dat leerlingen dit gewenste doel kunnen bereiken.

Sinds enkele jaren verschijnt er literatuur waarin opvoeden en leren vanuit de dynamische systeemtheorie worden gezien (Thelen & Smith, 1994; Heyting, 1996). Opvoeding, genetische overerving en omgevingsfactoren zijn in die benadering afhankelijk van elkaar en bepalen gezamenlijk de wijze waarop ontwikkeling verloopt. Met name Thelen en Smith werkten een systeemtheorie uit die zij baseren op theorie over neurale netwerken (Edelman, 1992). Ontwikkeling, leren en handelen vallen volgens hen samen in de activiteit die binnen een concrete context wordt uitgevoerd. De actuele context en de ontwikkelingsgeschiedenis van de lerende bepalen welk cognitief construct tot stand komt. Enerzijds leidt binnenkomende informatie tot activering van neurale netwerken, waardoor een zodanige selectie van informatie plaatsvindt dat de binnenkomende informatie compatibel wordt met de in de neurale netwerken opgeslagen informatie. Anderzijds vindt gelijktijdig reorganisatie en uitbreiding van de in de neurale netwerken opgeslagen informatie plaats; er vindt dus kennisconstructie plaats. Maar niet alleen wat aan informatie binnenkomt is contextgebonden, de context bepaalt ook welke neurale netwerken worden geactiveerd en welke informatie daardoor wordt opgeroepen. Daarbij vindt dus reconstructie van kennis plaats (O.R. Anderson, 1997). Volgens Thelen & Smith moeten we cognitieve constructen opvatten als in contexten geactiveerde neurale netwerken en bestaan cognitieve constructen ook niet buiten concrete contexten. Als leerlingen een concept map voor ons tekenen moeten we die dus zien als een constructie, die in de context waarin de opdracht gegeven wordt ontstaat, en niet als een afbeelding van hun voorkennis. Zij verwerpen dan ook alle materialistische voorstellingen van het begrip conceptuele structuur⁷.

Als we overzien waartoe systeemtheoretische benaderingen van leren ons tot zo ver gebracht hebben, zien we dat de argumentatie van Thelen & Smith goed aansluit bij zowel neurofysiologische verklaringen voor leren, als bij constructivistische en situatieve benaderingen. De kern van hun betoog is dat activiteit en leren samenvallen. Of om Maturana & Varela te citeren: 'Alle doen is kennen, alle kennen is doen' (Maturana & Varela, 1988; 19).

Afgezien van deze aanscherping leidt de dynamische systeemtheorie ons nog tot een andere conclusie, een conclusie die we niet aan het constructivisme en de situatieve theorie kunnen ontleen.

4.3. Sturing van het leerproces

Daarvoor keren we terug naar het in de dynamische systeemtheorie gehanteerde begrip attractor. Een attractor kunnen we omschrijven als een gedragspatroon dat onder verschillende externe condities optreedt. Sommige attractoren zijn diep; dat wil zeggen dat zich, ondanks veranderingen in het externe milieu, steeds hetzelfde gedrag voor doet, dat in verschillende contexten steeds hetzelfde neurale netwerk wordt geactiveerd. Of, om het in constructivistisch jargon uit te drukken, dat we met persistente concepties te maken hebben. Andere attractoren zijn ondiep. In dat geval kunnen kleine veranderingen in het externe milieu er toe leiden dat verschillende neurale netwerken worden geactiveerd. Voor het leerproces betekent dat dat kleine verschillen in de leeromgeving kunnen leiden tot grote verschillen in de wijze waarop het leerproces verloopt.

Deze redenering werd door Van Geert (1992) uitgewerkt voor de relatie tussen hulp en leerprestatie. Met een simulatie-onderzoek toonde hij aan dat kleine schommelingen in de optimale afstand tussen hulp en prestatie tot zeer uiteenlopende leercurven leiden. Zowel te weinig als te veel hulp zijn contraproductief, het gaat om de goede dosering⁸. Het probleem is nu dat onvolledige of onjuiste waarnemingen van de beginsituatie van de leerlingen tot een onvoorspelbaar verloop van het leerproces kunnen leiden. Bovendien weten we in veel gevallen niet of we met een diepe attractor te maken hebben, of niet. Daardoor kunnen we verwachten dat het bij het aanleren van het ene begrip tamelijk indifferent is welke hulp we bieden, terwijl bij het aanleren van een ander begrip kleine verschillen kunnen bepalen in hoeverre leren tot stand komt.

Voor de leraar ontstaat hierdoor een niet te hanteren probleem. Het probleem is niet alleen dat de leraar het gedrag van de leerling onvolledig of onjuist kan waarnemen en de effectiviteit van de interventie afhankelijk is van de snelheid waarmee de leraar zijn begeleiding aan de leerling aanpast (Heyting, 1996). De leraar staat in een klas met 24 leerlingen voor de opgave om rekening te houden met de voorkennis van en optimale afstand voor alle 24 leerlingen. Dat is een onmogelijke opgave, een niet te hanteren sturingsprobleem. Ik deel dan ook de opvatting van Treffers, die onlangs

in een interview stelde dat onderwijs op maat niet bestaat en dat de leraar niet alle leerlingen op hun eigen niveau kan bedienen (Schoor, 1997).

Wat leraren in ieder geval wel goed kunnen is sturen op input, door het onderwijsaanbod te definiëren en opdrachten te geven, en op output, door te toetsen of het effect aan de verwachtingen voldoet. Daarnaast kunnen zij de wijze waarop opdrachten worden uitgevoerd proberen bij te sturen. Wat het effect is van die bijsturing is echter lang niet altijd goed te voorspellen.

5. Pedagogische-didactische uitgangspunten

5.1. Sturingsopties

De cruciale vraag is natuurlijk of, als de leraar niet in staat is om het leerproces van alle leerlingen adequaat te sturen, de sturing niet op een andere manier kan worden geregeld. Twee opties zijn dan denkbaar: sturing door de leerlingen zelf en sturing door leermiddelen en leeromgeving.

Bij afweging van de twee opties, moeten we ons wel realiseren dat er ten aanzien van de doelstellingen die leerlingen in havo/vwo kunnen realiseren niet veel beslisruimte voor de leerlingen over is. De doelstellingen zijn grotendeels vastgelegd in de examenprogramma's. Leermiddelen, waarmee de doelstellingen kunnen worden gerealiseerd, worden door de leraar gekozen en de leeromgeving waarbinnen leerlingen werken wordt door de leraar ingericht.

De ruimte voor sturing door leerlingen bestaat, afgezien van profielwerkstukken die ze in het studiehuis moeten maken, dan ook vooral uit het zelfstandig werken met voorgeschreven leermiddelen en in een voorgeschreven leeromgeving. Leermiddelen kunnen de leerlingen echter meer of minder ruimte voor sturing laten. Naarmate leermiddelen de activiteiten die zij moeten uitvoeren nauwkeuriger voorschrijven, blijft er minder ruimte over voor sturing van hun eigen leerproces.

Hiermee is de context, waarbinnen we onze afweging van de beide opties voor optimalisering van het leerproces moeten maken, geschetst. We kunnen in onze redenering nu twee kanten op. Of we richten ons op een verdere sturing door leermiddelen en leeromgeving, of we richten ons op maximalisering van de wellicht wat beperkte ruimte voor sturing door de leerlingen zelf.

De eerste weg lijkt vooralsnog weinig perspectief te bieden. We kunnen niet verwachten dat leermiddelen het maatwerk kunnen leveren dat nodig is om optimaal op de voorkennis en gewenste sturing van individuele leerlingen te kunnen aansluiten. In hoeverre interactieve COO-programma's dat in de toekomst wel kunnen is de vraag. Voor het studiehuis wordt die weg in ieder geval niet ingeslagen.

De vraag is dan hoe realistisch het is om, uit het oogpunt van optimalisering van het leerproces, de sturing daarvan bij de leerlingen zelf te leggen. Om daar een scherper beeld van te krijgen, is het zinvol opnieuw in te gaan op de theorie over 'situated cognition'.

In de situatieve opvatting wordt veel belang gehecht aan leren in een meester-gezel relatie, waarbij leerlingen als gezellen leren hoe zij problemen die binnen de leercontext van belang zijn kunnen aanpakken (Henessy, 1993). Nu doet zich in schoolse contexten het probleem voor dat de leercontext daar geen doel op zich is en er alleen gewerkt kan worden aan dilemma's en problemen die authentiek zijn in andere contexten dan de schoolse context zelf. Dat neemt echter niet weg dat ook in de schoolse context de leraar als meester een sleutelrol vervult door te demonstreren hoe problemen kunnen worden aangepakt, door leerlingen bij de uitvoering van taken te begeleiden, door te laten zien dat over de kwaliteit van de aanpak en oplossing kan worden onderhandeld en te laten zien dat er voor levensechte problemen meestal meerdere oplossingen zijn.

Naarmate de leerlingen de problemen die in de schoolse context worden aangeboden beter aanpakken, kan de meester zich meer terugtrekken en sturingsfuncties overdragen. Daardoor bevordert hij hun zelfstandigheid en leert hij hen controle te hebben over hun eigen leerproces. In meester-gezel verhoudingen wordt niet alleen de expertise doorgegeven, maar wordt ook de sturing overgedragen.

5.2. Verdeling van de sturing

De situatieve opvatting benadrukt niet alleen het leren in contexten, maar ook het sociale karakter van de contexten waarin wordt geleerd. Dat impliceert dat het leerproces niet alleen beïnvloed wordt door de wijze waarop de communicatie tussen leraar en leerling verloopt, maar ook door de wijze van communiceren tussen leerlingen onderling.

Op dit punt is het van belang te wijzen op de communicatietheorie van Watzlawick (Watzlawick et al., 1970) en het op basis daarvan door de Interactie Akademie te Antwerpen uitgewerkte systeem-relatie-denken (Peeters, 1979). Dit systeemdenken, dat teruggrijpt op de Algemene Systeemtheorie en de cybernetica, biedt een kader waarmee de menselijke communicatie kan worden geanalyseerd en interventies kunnen worden gekozen⁹. Het zelfbeeld, de identiteitsbeleving van de lerende, wordt daarbij als normatief referentiepunt gekozen.

In het systeem-relatie-denken wordt identiteit overigens, en dat sluit goed aan bij de theorie over 'situated cognition', als een sociaal geconstrueerde realiteit gezien, die mensen in dialoog met elkaar presenteren en representeren. Dat leidt er toe dat in verschillende sociale contexten ook verschillende identiteiten worden geconstrueerd (Baert, 1993). Deze theorie van de menselijke communicatie wijst ons op de betekenis van intermenselijke communicatie voor het leren. We moeten ons om die reden dan ook afvragen of informatie- en communicatietechnologie de sturende rol wel volledig kan overnemen (zie bijv. Henessy, 1993). De wijze waarop het leerproces door intermenselijke communicatie wordt bijgestuurd kan naar mijn mening niet volledig in een geautomatiseerd systeem worden vastgelegd, doordat de digitale taal van een computer veel minder rijk is dan de taal die we in intermenselijke communicatie hanteren. Natuurlijk kunnen we voor een communicatief armere leeromgeving kiezen, zoals in afstandsonderwijs, maar als dat niet perse nodig is, verdient het de voorkeur om de mogelijkheden van de intermenselijke communicatie optimaal te benutten.

Als we nu, samenvattend, de vraag beantwoorden waar we de sturing van het leerproces moeten neerleggen, concludeer ik dat, doordat het leren in een schoolse context plaatsvindt, waarin de intermenselijke communicatie een belangrijke rol vervult, we de sturing niet op één plaats kunnen neerleggen. Het leren van leerlingen wordt beïnvloed door alle actoren die deel uitmaken van het systeem waarin geleerd wordt en door de middelen die daartoe door de actoren worden ingezet. Het is dan ook niet verstandig om de sturing van het leerproces eenzijdig bij de leraar of leerlingen of bij leermiddelen, zoals leerboek of multimediale leeromgeving, neer te leggen. Het gaat om een zodanige verdeling van de sturing dat optimaal van sterke punten kan worden geprofiteerd.

Een sterk punt van de leraar en medeleerlingen is dat zij de leerling, door hem of haar feedback te geven, een referentiepunt bieden waaraan betekenissen kunnen worden gespiegeld. Dat kan de leerling niet zelf. Daar staat echter tegenover dat alleen leerlingen zelf in staat zijn tot zelfreflectie tijdens de uitvoering van de activiteit (Schön, 1987) en tot zelfreflectie achteraf.

Een deel van de sturingsfuncties kan in principe ook in een geautomatiseerd multimediaal systeem worden vastgelegd. De introductie van ICT dwingt ons dan ook tot heroverwegingen ten aanzien van de manier waarop sturingsfuncties binnen de leeromgeving kunnen worden verdeeld (Barnard & Sandberg, 1994).

Een van de functies, die wellicht beter door geautomatiseerde systemen kan worden vervuld, is de informatie- of documentatiefunctie. Daarnaast voegt ICT ook functies toe die door actoren niet adequaat met de traditionele leermiddelen kunnen worden vervuld.

Met rekenprogramma's kunnen grote hoeveelheden data worden verwerkt en met simulaties kan geëxperimenteerd worden met complexe dynamische processen.

5.3. Een didactiek van zelfsturing

Laten we bezien tot waar deze beschouwingen over sturing van het leerproces ons hebben gebracht.

In het kader van het studiehuis wordt bepleit, om sturingsfuncties geleidelijk aan leerlingen over te dragen (Boekaerts & Simons, 1995). Met mijn beschouwing over sturing heb ik willen laten zien dat het niet op voorhand functioneel is om alle sturingsfuncties aan leerlingen over te dragen ¹⁰. Sommige sturingsfuncties moeten wellicht wel niet worden overgedragen, of alleen als aan omschreven voorwaarden is voldaan. Zelfsturing moet dan ook niet worden opgevat als individueel werken. Zelfsturing moet worden uitgewerkt in didactische structuren waarin individueel werken, groepswerk en klassikaal werken elkaar afwisselen. De leraar vervult daarbij, als coach en begeleider een onmisbare rol.

De leraar zal er echter op gericht moeten zijn om de leerlingen zodanig te sturen dat zij in toenemende mate zelf kunnen sturen. Leraren moeten leren, waar dat mogelijk is, hun invloed zodanig terug te nemen dat leerlingen de autonomie verwerven en de daarbij behorende verantwoordelijkheid leren dragen die binnen de school realiseerbaar is. Leraren moeten leren zien dat leerlingen autopoietische systemen zijn, die zich in interactie met hun omgeving ontwikkelen. De ontwikkeling van de eigen autonomie, en dat impliceert in toenemende mate zelfsturing, is de enige pedagogische keuze die we voor het studiehuis kunnen maken.

Nu bevorderen we de ontwikkeling van de autonomie van leerlingen niet alleen door sturingsfuncties over te dragen. We doen dat ook door hen metacognitief gereedschap mee te geven dat kan worden aangepast aan de eisen die de context stelt. Het systeemdenken is dergelijk gereedschap. Het systeemdenken is niet alleen van belang voor het leren van biologie, maar ook voor het leren in toekomstige buitenschoolse leersituaties, omdat de samenhang, het gedrag en de ontwikkeling van biologische en sociale systemen er mee kan worden begrepen.

Met systeemdenken kunnen leerlingen niet alleen hun eigen leerproces effectiever sturen, het helpt hen ook de sociale systemen waar zij deel van uitmaken doelgericht te beïnvloeden. Zelfsturing moet zich niet alleen richten op het leren, maar op wat Ligthart 'het volle leven' noemde (Praamsma, 1997). Op school kunnen we daar een goede voorzet voor geven.

Het ontwikkelen van een didactiek die zich daarop richt is een belangrijke opgave. Een didactiek die de ontwikkeling van zelfsturing van leerlingen als uitgangspunt neemt, noem ik een *didactiek van zelfsturing*. Een didactiek van zelfsturing, zoals ik die definieer, reikt verder dan wat in het kader van het studiehuis wel is aangeduid als een zelfwerkzaamheidsdidactiek (Zuylen & Simons, 1995) of een didactiek voor leren leren (Simons & Zuylen, 1995; Bolhuis & Kluvers, 1996). Een didactiek van zelfsturing beperkt zich niet tot leren leren, maar richt zich op de ontwikkeling van zelfsturing in het algemeen. Dat betekent ook dat vakinhouden gekozen worden, ankerpunten, op grond van de betekenis die ze daarvoor kunnen hebben.

Het schoolvak biologie is niet het enige schoolvak dat vakinhouden te bieden heeft die voor een didactiek van zelfsturing van belang zijn, maar bevindt zich, met de hier voorgestelde systeembenadering, wel in het hart daarvan. Het is dan ook aan de didactiek van de biologie, als vakdidactiek, om de activiteiten te definiëren die leerlingen moeten uitvoeren om te leren de voorgestelde systeembenadering als metacognitief instrument te hanteren. De ontwikkeling van een didactiek van zelfsturing en het biologie-didactisch onderzoek dat zich daar op richt, zijn van eminent belang bij de verdere ontwikkeling van het studiehuis.

6. Afronding

Mijnheer de Rector Magnificus, dames en heren,

Ik kom tot een afronding van mijn betoog. Ik heb beargumenteerd dat het uitwerken van een systeembenadering binnen het biologie-onderwijs niet alleen kan bijdragen aan verbetering van het biologie-onderwijs, maar ook aan de ontwikkeling van een didactiek van zelfsturing. Dat is in ieder geval het perspectief waarin ik het biologie-didactisch onderzoek wil plaatsen.

Het onderzoeksprogramma dat ik voor ogen heb, bouwt voort op het huidige, voor een groot deel afgeronde, onderzoeksprogramma van de vakgroep. Dit onderzoeksprogramma, dat onder de leiding van mijn voorganger, Prof.dr.P.A. Voogt, reeds drie dissertaties heeft opgeleverd (Roebertsen, 1996; Reygel, 1997; Buddingh', 1997), richt zich op regulatie op organismaal niveau. Daarnaast wordt binnen dit onderzoeksprogramma ook onderzoek uitgevoerd naar ontwerpend leren, een leerstrategie waarbij leerlingen zelf hun kennis van een biologisch systeem, zoals het immuunsysteem, opbouwen (Janssen & Voogt, 1996; Janssen, 1997). Het ontwerpend leren is van groot belang voor het nieuwe onderzoeksprogramma, omdat daarbinnen systeemtheoretische modellen kunnen worden benut.

Het verschil met het lopende onderzoek is in de eerste plaats dat het nieuwe onderzoeksprogramma zich richt op biologie-onderwijs waarin een systeembenadering als instrument wordt geïntroduceerd en benut. Dat kan alleen als het nieuwe programma zich ook op andere niveau's dan het organismale niveau richt. Kenmerkend voor een systeembenadering is immers juist dat in een biologisch object meerdere organisatieniveau's te onderscheiden zijn, die ieder als open systeem kunnen worden gezien.

De vakgroep participeert, tezamen met de vakgroep natuurkundendidactiek, de vakgroep chemiedidactiek, het Freudenthal Instituut en het IVLOS in CDβ, het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen. Ik hecht er sterk aan dat het onderzoeksprogramma past binnen de verder te ontwikkelen onderzoeksvisie van het Centrum. Het onderzoek van het Centrum richt zich op de ontwikkeling van wiskundige en natuurwetenschappelijke begrippen. Daarbij wordt gebruik gemaakt van ontwikkelingsonderzoek waarin de ontwikkeling van lesmateriaal een belangrijke functie vervult (Gravemeijer, 1994).

De laatste tijd wordt in het Centrum in toenemende mate nadruk gelegd op modelontwikkeling (zie bijvoorbeeld Van Hoeve-Brouwer, 1996; Vollebregt, 1997). Lijnse (1997) betoogde onlangs dat modellen en het leren modelleren een gemeenschappelijke rode draad in het natuurwetenschappelijk onderwijs zouden kunnen zijn. Systeemdenken valt daarbinnen, omdat dat het gebruiken van systeemmodellen veronderstelt.

Ik heb betoogd dat het belang van het onderzoek ten behoeve van een theorie voor leren systeemdenken verder reikt dan alleen de biologie. De uitwerking van het leren leren in het studiehuis kan er een nieuwe impuls door krijgen. Ik ben me er goed van bewust dat het doel waaraan ik met het onderzoek wil bijdragen ambitieus is, dat er een lange weg te gaan is en dat de bijdrage van velen daarvoor nodig is. Ik weet dat het op korte termijn verstandig is om concretere, beter te realiseren doelen te stellen. De eerste zorg is nu dan ook om daar met de vakgroep didactiek van de biologie verder vorm aan te geven. Waarde vakgroepgenoten, we zullen het met elkaar moeten hebben over de manier waarop we een systeembenadering niet alleen in ons onderzoek, maar ook in ons onderwijs verder kunnen uitwerken. Dat laatste vind ik niet alleen van belang omdat het gewenst is dat onze onderzoeksopbrengst in ons onderwijs doorwerkt. Juist doordat de vakgroep, met zowel de GVO- en NME- cursus als de lerarenopleiding, kwalitatief goed onderwijs verzorgt, kunnen we mogelijkheden uitwerken om de ideeën over systeemdenken in ons eigen onderwijs te beproeven. Ik verheug me daar bijzonder op.

7. Dankwoord

Tot slot wil ik graag enkele woorden van dank uitspreken. Ik ben niet alleen dank verschuldigd aan degenen die bijgedragen hebben aan mijn benoeming, maar ook aan degenen die korter of langer geleden hebben bijgedragen aan het gedachtegoed dat ik in mijn rede heb verwerkt¹¹. Het schrijven van deze oratie heb ik beschouwd als het werken aan een synthese van ervaringen en gedachten die ik de afgelopen twintig jaar dankzij velen bij elkaar heb gescharreld.

Ik dank het College van Bestuur van de Universiteit Utrecht voor mijn benoeming en de Faculteit Biologie voor het in mij gestelde vertrouwen. Ik ben me er terdege van bewust dat de leerstoel Didactiek van de Biologie de enige in Nederland is en dat de leerstoel van groot belang is voor het gezicht van het biologie-onderwijs. Ik wil dan ook al degenen die zich er voor hebben ingezet om de leerstoel te behouden, en in het bijzonder het NIBI en Mieke Kapteijn, bedanken voor hun inzet.

Uit mijn benoeming blijkt ook dat de Faculteit Biologie het van belang gevonden heeft, of aangedurfd heeft, om iemand die niet bij een universiteit werkt tot hoogleraar te benoemen. Wellicht vonden zij dat risico niet al te groot, omdat ik tot 13 jaar geleden bij dezelfde vakgroep werkte. De ervaring die ik in de tussenliggende jaren buiten de universiteit heb opgedaan zie ik als een bijdrage aan de expertise van de vakgroep.

Sinds 1984 werk ik bij het Instituut voor Leerplanontwikkeling (SLO) in Enschede. Ik ben mijn collega's bij de SLO zeer erkentelijk voor de impulsen en ruimte die ze me al die jaren hebben geboden. Ze weten dat ik de dynamiek van de SLO niet graag zou missen. Ik vat mijn benoeming in hoge mate op als waardering voor het werk dat ik bij de SLO heb gedaan.

Op de ontwikkeling van het gedachtegoed dat ik in mijn oratie heb verwerkt, hebben veel mensen invloed gehad. Velen van hen ken ik alleen uit hun geschriften, andere ken ik ook persoonlijk. Twee mensen die mij hebben leren systeemdenken wil ik echter graag persoonlijk bedanken.

Cor Koetsier, die kort gelden de vakgroep om gezondheidsredenen heeft moeten verlaten, ben ik zeer erkentelijk voor het openen van de wereld van het systeemdenken, zoals dat door de Interactie Akademie in Antwerpen is uitgewerkt.

Cor, dankzij jou werd het systeemdenken, door het tot op het niveau van interventies uit te werken en het in cursussen te hanteren, een deel van mijn gedragsrepertoire. Wilhelm Walgenbach, van het IPN in Kiel, heeft me als systeemtheoreticus ingeleid in de geheimen van de chaostheorie. Wilhelm, van jou heb ik geleerd dat chaostheorie weliswaar abstract is, maar dat chaotisch gedrag een dagelijks fenomeen is. Hoe vaak we het ook geprobeerd hebben, gedurende meer dan 10 jaar hebben we niet de condities kunnen vinden om samen onderzoek te doen. Wellicht dat het tij nu keert.

Veel dank ben ik ook verschuldigd aan de oude redactie van TD β , het Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen. Piet Lijnse, Wobbe de Vos en Leen Streefland, jullie waren voor mij jaren lang de draad waarmee ik me met het Centrum verbonden bleef. Juist doordat onze redactievergaderingen niet altijd even zakelijk verliepen en vakdidactische opvattingen in alle heftigheid werden bediscussieerd. Gelukkig dat we na een zwak moment waarin TD β nota bene werd opgeheven, nu toch een doorstart met een nieuwe redactie hebben kunnen maken.

Tot slot wil ik graag mijn vrouw Marja en mijn kinderen Melle en Maren bedanken. Marja, ik realiseer me heel goed dat het reilen en zeilen van ons gezin sinds mijn benoeming ingewikkelder is geworden. Ik ben er jou, jullie alle drie, zeer erkentelijk voor dat jullie me deze nieuwe uitdaging hebben gegund. Melle en Maren, het systeemdenken is al twintig jaar een bron van inspiratie voor me. Ik hoop er aan bij te dragen dat jullie het over enkele jaren op school tegenkomen en zelf kunnen beoordelen wat het waard is. Mochten jullie sneller zijn dan de veranderingen in ons schoolsysteem, en dat kunnen we niet uitsluiten, dan rest mij niets anders dan het heft in eigen handen te nemen en jullie ook op dit punt de sturing over te dragen.

Ik heb gezegd.

- ¹ Ook Von Bertalanffy is een voorstander van om verschillende systeemmodellen te gebruiken: 'As practice shows, diverse system models will have to be applied according to the nature of the case and operational criteria.' (Von Bertalanffy, 1968; 28).
- ² In de meest gebruikte bovenbouwmethoden voor havo/vwo wordt een cybernetische systeembenadering op organismaal niveau en, zij het in mindere mate, ook op ecosysteemniveau gehanteerd. In de methoden die na invoering van het huidige examenprogramma zijn aangepast wordt ook kort ingegaan op verschillende organisatieniveau's en wordt homeostase ook wel als thema gehanteerd. In 'Biologie voor jou' is in deel 5V (1992) een hoofdstuk 'homeostase en bescherming' opgenomen. Met name in de nieuwe versie van 'Kreutzer' wordt in deel 4H (1993) - een nieuw deel 4V is nog niet beschikbaar - ingegaan op de verschillende organisatieniveau's.
Gezien het feit dat systeemdenken nu voor het eerst in de examenprogramma's, die overigens nog de status van advies hebben, voorkomt, is het geen verrassing dat deze vaardigheid in geen van de methoden wordt ontwikkeld.
- ³ Alle constructivisten onderschrijven dit leertheoretisch uitgangspunt. Daarnaast is er een tweede, een epistemologisch uitgangspunt, dat niet door alle constructivisten wordt onderschreven, dat stelt dat kennis geen afspiegeling is van de werkelijkheid, maar een construct met een adaptieve betekenis (Boersma, 1995)
- ⁴ We kunnen rustig stellen dat de theorie over situated cognition zich nauwelijks laat verenigen met de veranderende opvattingen over onderwijsdoelstellingen in ons land. Politici en onderwijskundigen benadrukken juist het belang van algemene vaardigheden.

-
- ⁵ Recentelijk is een heftige polemiek ontstaan tussen constructivisten (J.R. Anderson et al., 1996) en onderzoekers die een situationele benadering voorstaan (Greeno, 1997). De polemiek laat zien dat beide opvattingen verschillend jargon hanteren. De constructivisten hebben het over het interne milieu van de lerende, terwijl de situationelen het over het externe milieu hebben (zie ook noot 5). Greeno wijst er terecht op dat kritiek op de situationele benadering niet met constructivistische argumentaties kan worden gegeven. Even begrijpelijk is echter dat Anderson alleen zijn eigen taal gebruikt om de situationele opvatting te bekritisieren. Het is geen wonder dat de taal die door vertegenwoordigers van beide benaderingen wordt gebruikt niet goed op elkaar aansluit, zolang niet een systeemtheoretische meta-taal wordt gehanteerd en verwarring tussen logische typen kan worden vermeden.
- ⁶ Maturana & Varela (1988;107) brengen dit verschil heel pregnant tot uitdrukking wanneer zij stellen dat er voor de interne dynamiek van het systeem geen omgeving is. Wanneer we echter het systeem echter bezien vanuit de interactie met de omgeving is de interne dynamiek irrelevant. 'Het probleem ontstaat pas als we ongemerkt overgaan van het ene domein naar het andere en verlangen dat de verbanden die we tussen beide kunnen leggen (...) ook feitelijk deel uitmaken van de werking van het systeem.' (op.cit.; 108)
- ⁷ Marurana & Varela werken een soortgelijke redenering uit. Zij stellen: 'Het is misleidend om het leerproces te beschrijven als een internalisatie van de omgeving, want hiermee wordt de suggestie gewekt dat in de structuur van het zenuwstelsel bepaalde verschijnselen voorkomen die echter uitsluitend bestaan op het beschrijvingsniveau van organismen die –net als wij – beschikken over taalvermogen.'(Maturana & Varela, 1988; 138) 'We spreken van kennis wanneer we binnen een bepaalde context effectief (of adequaat) gedrag waarnemen, dat wil zeggen binnen een domein dat afgebakend wordt door de impliciete of expliciete probleemstelling die we als waarnemer formuleren.'(op.cit.; 139)
- ⁸ Ook in de psychotherapie is het probleem van de optimale afstand bekend, getuige het volgende citaat van Beelprez (1992; 218): '.. wanneer de therapeutische ordeningen te verschillend zijn van de ordeningen van de cliënt, dan zullen de interventies irrelevant blijken. Zij ze echter te gelijkend, zal er geen nieuwe informatie gegenereerd worden en blijft de situatie ongewijzigd.'

-
- ⁹ Opmerkelijk is dat de laatste jaren in de systeem- of gezinstherapie een oriëntatie op het constructivisme plaatsvindt. Daarbij wordt ook gebruik gemaakt van het gedachtegoed van Maturana & Varela (1988) (zie Beelprez, 1992; Schmitt, 1991).
- ¹⁰ De vraag is wellicht niet alleen welke sturingsfuncties kunnen worden overgedragen, of op welke wijze sturingsfuncties over actoren en door actoren ingezette leermiddelen worden verdeeld, maar ook wie de sturingsfuncties verdeelt. Verdeelt de leraar de sturingsfuncties, of doet de leerling dat? Anders gezegd, wat moet er nu worden overgedragen, de sturing of de verdeling van de sturing? Beslissen leerlingen dat ze gebruik willen maken van gesloten vragen om te toetsen of ze kunnen recapituleren wat ze geleerd hebben, of beslist de leraar dat ze een open opdracht moeten uitvoeren? In de discussie over leren leren wordt deze vraag niet gesteld. Ook bij zelfverantwoordelijk leren (Simons & Zuylen, 1995), wat als hoogste graad van autonomie wordt gepresenteerd, is het de leraar die beslist dat er zonder nadere instructies aan een gegeven onderwerp moet worden gewerkt.
- Dat is niet onjuist, het betekent alleen dat de verdeling van de sturing niet is overgedragen. Als we werkelijk leerlingen werkelijk maximale verantwoordelijkheid voor hun leerproces willen laten dragen, moeten we ons afvragen of dat niet juist dat hetgeen is wat we geleidelijk aan moeten overdragen.
- ¹¹ De meest recente bijdrage is van Fred Janssen, Arend Jan Waarlo, Floor Looy en Ed Moen . Ik ben hen dank verschuldigd voor hun kritische opmerkingen bij eerdere versies van deze tekst.

8. Literatuur

- Anderson, J.R., L.M.Reder & H.A.Simon (1996). Situated Learning and Education. *Educational researcher*, 25, 4, 5-11.
- Anderson, O.R. (1997). A neurocognitive perspective on Current Learning Theory and Science Instructional Strategies. *Science Education*, 81, 67-89.
- Ashby, W.R. (1956). *An introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall Ltd.
- Baert, D. (1993). Identiteit en identiteitsontwikkeling: een poging tot systeemtheoretische benadering. II: de ontwikkeling van identiteit.
- Bayrhuber, H. & G. Schaefer (1980). *Kybernetische Biologie*. Köln: Aulis Verlag.
- Beelprez, J. (1992). Het land van niet. Een verkenning van het sociaal konstruktivisme. *Systeemtheoretisch Bulletin*, 10, 4, 211-228.
- Bernard, Y.F. & J.A.C.Sandberg (1994). *The learner in the centre: towards a methodology for open learner environments*. Dissertatie Universiteit van Amsterdam.
- Bertalanffy, L.von (1968). *General System Theory*. New York: Braziller.
- Boekaerts, M. & P.R.J.Simons (1995). *Leren en instructie. Psychologie van de leerling en het leerproces*. Assen: Van Gorkum.
- Boersma, K.Th. (1995). Constructivisme en curriculum. *Pedagogisch Tijdschrift* 20, 4/5, 247-262.
- Boersma, K.Th. & J.C.Schouw (1988). *Tussen natuur en milieu. Uitgangspunten voor een didactiek van natuur- en milieu-educatie*. Enschede: SLO.
- Bolhuis, S. & C.Kluvers (1996). *Op weg naar zelfstandig lerende leerlingen. Verslag van het eerste deelonderzoek naar procesgericht onderwijs: Wat doen en denken docenten die procesgericht onderwijzen?* Nijmegen: Katholieke Universiteit, Vakgroep onderwijskunde
- Buddingh' (1997). *Regulatie en homeostase als onderwijsthema: een biologie-didactisch onderzoek*. Utrecht: CDB Wetenschappelijke bibliotheek.
- Buddingh', J., M.J.A.Kamp & P.A.Voogt (1992). *Geregeld overleven. Lesmateriaal voor bovenbouw VWO*. Enschede: SLO.

Cobb, P. (1994). Where is the mind? Constructivist and sociocultural perspectives on mathematical development. *Educational Researcher*, 23/7, 13-20.

Duit, R. (1994). Research on students' conceptions - developments and trends. In: H.Pfundt & R.Duit (Eds.). *Students' alternative frameworks and science education. Bibliography (4th edition)*. Kiel: IPN.

Duit, R. & M.Komorek (1997). Understanding the basic ideas of chaos-theory in a study of limited predictability. *Int. J. Science Education*, 19, 3, 247-264.

Edelman, G.M. (1992). *Bright air, briljant fire. On the Matter of the Mind*. Harmondsworth/Middlesex: Penguin Books.

Eulefeld, G. & G. Schaefer (1978). *Biologisches Gleichgewicht. IPN-Einheitenbank Biologie*. Köln: Aulis Verlag Deubner & Co.

Freudenthal, H. (1991). *Revisiting Mathematics Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Frijda, N.H.(1981). Menselijke natuur en informatie als determinanten van gedrag. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 36, 135-150.

Geert, van P. (1992). Vygotsky's dynamic systems. *Comenius*, 12, 383-401.

Gleick, J. (1988). *Chaos. De derde wetenschappelijke revolutie*. Amsterdam: Uitgeverij Contact.

Gravemeijer, K.P.E. (1994). *Developing realistic mathematics education*. Utrecht: CDB-Press.

Henessy, S. (1993). Situated Cognition and Cognitive Apprenticeship: Implications for Classroom

Learning. *Studies in Science Education*, 22, 1-41.

Henessy, S., R.McCormick & P.Murphy (1993). The myth of general problem solving capability. Design and technology as an example. *The Curriculum Journal*, 4, 59-72.

Heyting, G.F.(1996). Ontwikkeling tussen plan en willekeur. Een systeemtheoretisch perspectief op de dynamiek van ontwikkeling en opvoeding. *Pedagogisch Tijdschrift*, 21, 3, 181-197.

- Hoeve-Brouwer, G.M. van (1996). *Teaching structures in chemistry. An Educational Structure for chemical Bonding*. Utrecht: CDB-Press.
- Janssen, F.(1997). Ontwerpend leren. Zelfstandig modellen ontwikkelen in het biologie-onderwijs. Paper Onderwijs Research Dagen 21-23 mei 1997 te Leuven.
- Janssen, F. & P.Voogt (1996). Ontwerpend leren in het biologie-onderwijs. *NVOX* 21/2, 42-47.
- Jantsch, E. (1980). *The Self-organizing Universe. Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution*. New York: Pergamon Press.
- Koestler, A.(1978). *Janus. A summing up*. London: Hutchinson & Co.
- Lave, J. (1993). *Cognition in practice: mind, mathematics and culture in everyday life*. Cambridge/USA: Cambridge University Press.
- Lijnse, P.L. (1986). Energie tussen leefwereld en vakstructuur. In: J.S.ten Brinke, H.P.Hooymayers & G.Kanselaar (red.). *Vakdidactiek en informatietechnologie in curriculumontwikkeling*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Lijnse, P.L.(1995). Innovations in science education and evidence from classroom learning. In: J.van Trommel (ed.). *Trends in Science and Technology Education. Part 4. 7th IOSTE Symposium Science and Technology Education in an Demanding Society*. 23-31 August 1994, Veldhoven, The Netherlands. Enschede: SLO.
- Lijnse, P.L.(1997). Vakdidactiek: het vergeten fundament van het studiehuis? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen* 14, 1, 72-91.
- Maturana, H.R. & F.J.Varela (1988). *De boom der kennis. Hoe wij de wereld door onze eigen waarneming creëren*. Amsterdam: Uitgeverij Contact.
- Núñez, F. & E.Banet (1997). Students' conceptual patterns of human nutrition. *Int. J. Science Education*, 19, 5, 509-526.
- Peeters, F.(1979). Systeendenken in klas en school. In: J.P.Huijg e.a.(red.). *Leren en leven met groepen*. Alphen aan den Rijn: Samson.
- Praamsma, J.M. (1997). *Nieuwe wereldburgers. Aantasting van natuur en milieu als vraagstuk van algemene vorming*. Dissertatie Universiteit Utrecht.
- Prigogine, I. & I. Stengers (1985). *Orde uit chaos. De nieuwe dialoog tussen de mens en de natuur*. Amsterdam: Bert Bakker.

- Ramadas, J. & U.Nair (1996). The system idea as a tool in understanding conceptions about the digestive system. *Int.J. Science Education*, 16, 3, 355-368.
- Reygel, P.C.F. (1997). *Het thema 'reproductie' in het schoolvak biologie. Biologiedidactisch onderzoek van de vakdisciplinaire en maatschappelijke relevantie*. Utrecht: CDB Wetenschappelijke bibliotheek.
- Roebertsen, H. (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis. Ontwikkeling en onderzoek van een curriculum rond het thema 'lichaamsprocessen en vergift'*. Utrecht: CDB Wetenschappelijke bibliotheek.
- Rogoff, B. & J. Lave (1984). *Everyday cognition: Its development in social context*. Cambridge/USA: Harvard University Press.
- Schaefer, G. (1989). *Systems thinking in biology education*. Science and Technology Education Document series 33. Paris: UNESCO.
- Schmitt, K.(1991). De constructivistische stroming: een oriëntatie. *Systeemtherapie*, 3, 1, 4-12.
- Schön, D. (1987). *Educating the Reflective Practitioner*. San Francisco: Jossey Bass Inc.
- Schoor, C.(1997). De opkomst van het neo-klassikaal onderwijs. *Didactief & school*, oktober 1997, 4 – 8..
- Simon, H. (1969). *The sciences of the artificial*. Cambridge/USA: MIT-Press.
- Simons, R.J. & J.Zuylen (1995). Van zelfstandig werken naar zelfverantwoordelijk leren. In: P.R.J.Simons & J.G.G.Zuylen (red.). *De didactiek van leren leren. Studiehuisreeks no.4*. Tilburg: MesoConsult B.V.
- Solomon (1983). Learning about energy. How pupils think in two domains. *Eur.Journ.Science Educ.*, 5, 49-59.
- Thelen, E. & L.B.Smith (1994). *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*. Cambridge/Massachusetts: MIT Press.
- Vollebregt, M. (1997). De introductie van een deeltjesmodel via probleemstellend onderwijs. Paper Onderwijs Research Dagen, 21-23 mei 1997 te Leuven.
- Voogt, P.A., M.J.A.Kamp & J.Buddingh' (1992). *Het leven geregeld. Een lessenserie voor 4VWO over regelingen in het menselijk lichaam*. Enschede: SLO.

Vos, W.de & A.H.Verdonk (1991). Vakstructuur: steunpilaar of sta-in-de-weg?
Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen, 9, 2, 97-108.

Walgenbach, W. (1986). Und er bewegt sich doch. Kleiner didactische Essay über den Hefeteig. *Demokratische Erziehung* 10, 10-14.

Walgenbach, W. (1991). *System-bildung durch interdisziplinäre Systembildungen in einem interkulturellen Bildungsverbund*. Kiel: IPN.

Watzlawick, P., J.H.Beavin & D.D.Jackson (1970). *De pragmatische aspecten van de menselijke communicatie*. Deventer: Van Loghum Slaterus.

Wiener, N.(1948). *Cybernetics*. New York: Wiley.

Zuylen, J. & R.J.Simons (1995). Uitwerking van zelfwerkzaamheidsdidactiek. In: P.R.J.Simons & J.G.G.Zuylen (red.), *De didactiek van leren leren. Studiehuisreeks no.4*. Tilburg: MesoConsult B.V.

