

J. Buddingh'

Regulatie en homeostase als onderwijsthema:

een biologie-didactisch onderzoek

*Regulation and homeostasis in biology education:
a field study*



IVLOS

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING

1.1 Plaatsbepaling en achtergrond van deze studie	1
1.2 Probleemstelling	3
1.3 Doelstelling	5
1.4 Nadere probleemverkenning	5
1.5 Opzet van dit proefschrift: leeswijzer	6
Noten	7
Referenties	9

2 UITGANGSPUNTEN VOOR

VERNIEUWING VAN BIOLOGIEONDERWIJS:

kader voor ontwikkelings- en onderzoeksactiviteiten

2.1 Inleiding	11
2.2 De biologie als invalshoek: de identiteit van de vakdiscipline	12
2.3 De onderwijswetenschappen als invalshoek	14
2.3.1 Inleiding	14
2.3.2 Oriëntatie op leer- en ontwikkelingspsychologische uitgangspunten	15
2.3.2.1 Hoofdstromen: kenmerken en achtergronden	15
2.3.2.2 Oriëntatie op constructivisme	16
2.3.2.3 Sociaal-constructivistische en sociaal-culturele benaderingen van onderwijs	18
2.3.2.4 Stromingen binnen het constructivisme: verschillen en overeenkomsten, samenvatting uitgangspunten voor onderwijs	21
2.3.2.5 Enkele uitgangspunten en sleutelbegrippen nader verkend	22
2.3.3 Pedagogische uitgangspunten	26
2.3.4 Uitgangspunten van innovatieve aard	27
2.4 De maatschappij als invalshoek: het examenprogramma biologie als referentiekader	28
2.5 Beslispunten: agenda voor vervolgonderzoek	30
Noten	32
Referenties	33

3 HET BEGRIIP HOMEOSTASE

3.1 Inleiding	37
3.2 Literatuuronderzoek naar het begrip homeostase	
in de vakwetenschap	37
3.2.1 Doel en werkwijze	38
3.2.2 Het begrip homeostase in de animale en humane fysiologie	39
3.2.3 Gebruik in andere (deel)disciplines	46
3.2.4 Vakwetenschappelijke begrippen en hun relevantie voor het biologieonderwijs	48
3.2.5 Conclusies	51
3.3 Literatuuronderzoek naar het begrip homeostase	
in het secundair onderwijs	52
3.3.1 Doel en werkwijze	52
3.3.2 Resultaten	53
3.3.3 Conclusies	59
Referenties	61

4 VAKDIDACTISCHE VERKENNINGEN

4.1 Inleiding	67
4.2 Verkenning van vakdidactische onderzoeksliteratuur	68
4.2.1 Doel en werkwijze	68
4.2.2 Resultaten	68
4.2.3 Discussie	70
4.2.4 Conclusies	71
4.3 Pilotstudie naar voorkennis en kennisontwikkeling over ademhalings- en lichaamstemperatuurregulatie	72
4.3.1 Aanleiding en doel	72
4.3.2 Onderzoeksvragen en onderzoeksinstrument	73
4.3.3 Onderzoekspopulatie en werkwijze	74
4.3.4 Verwerking en analyse van de gegevens	75
4.3.5 Resultaten	76
4.3.6 Discussie	82
4.3.7 Conclusies	86
4.4 Pilotstudie naar schemavorming over temperatuurregulatie	87
4.4.1 Aanleiding en doel	87
4.4.2 Opzet van het onderwijsarrangement en onderzoeksvragen	88
4.4.3 Onderzoekspopulatie en -verloop	89
4.4.4 Verzameling, verwerking en analyse van onderzoeksgegevens	90
4.4.5 Resultaten	90
4.4.6 Conclusies	92
4.5 Samenvatting	93
Noten	94
Referenties	95

5 PROEFOPZET VOOR EEN DEELCURRICULUM: het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'

5.1 Inleiding	97
5.2 Het PBB-deelproject Homeostase: doel en werkwijze	98
5.3 De hoofdlijnen van het curriculum	100
5.4 De verdere uitwerking en invulling van het ontwerp	103
5.5 Het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'	110
Referenties	111

6 WERKEN MET 'GEREGELD OVERLEVEN': onderzoek naar gebruikseffecten in de klas

6.1 Inleiding	113
6.2 Doel, vraagstellingen en onderzoeksthema's	113
6.3 Opzet, methoden en condities van het onderzoek	114
6.4 Procesevaluatie en gebruikerservaringen	116
6.4.1 Verloop van de lessenreeks	117
6.4.2 Ervaringen van leerlingen	118
6.4.3 Ervaringen van docenten	122
6.4.4 Conclusies, beantwoording van de vraagstelling	123
6.5 Longitudinaal onderzoek	124
6.5.1 Vraagstellingen en werkwijze	124
6.5.2 Kennis van sleutelbegrippen	126
6.5.2.1 Doel en instrument	126
6.5.2.2 Bewerking en analyse van de gegevens	126
6.5.2.3 Opdrachten en categorieënsysteem	128
6.5.2.4 Resultaten	137
6.5.2.5 Discussie en nadere analyse	142
6.5.2.6 Conclusies	145
6.5.3 Woordassociaties bij sleutelbegrippen	147
6.5.3.1 Doel en instrument	147
6.5.3.2 Bewerking en analyse van de gegevens	147
6.5.3.3 Opdrachten	148
6.5.3.4 Conclusies	152
6.5.4 Schema's bij sleutelbegrippen	153
6.5.4.1 Doel en instrument	153
6.5.4.2 Bewerking en analyse van de gegevens	153
6.5.4.3 Opdrachten	154
6.5.4.4 Conclusies	156

6.6 Onderzoek van proefwerkresultaten	158
6.6.1 Vraagstelling en werkwijze	158
6.6.2 Bewerking en analyse van de gegevens	158
6.6.3 Resultaten	159
6.6.4 Discussie, conclusies en beantwoording van de onderzoeksvragen	160
6.6.5 Terugblik: kanttekeningen bij de onderzoeksmethoden en -resultaten	167
Noten	172
Referenties	172
7 SAMENVATTING EN BALANS: terugblik en perspectief	
7.1 Inleiding	173
7.2 Uitvoering en opbrengst	174
7.2.1 Fase 1 - Oriëntatie en verkenning	174
7.2.2 Fase 2 - Ontwerp	177
7.2.3 Fase 3 - Beproeving van het ontwerp	179
7.3 Aanbevelingen	184
Referenties	186
BIJLAGEN	
4-1 Werkboek pilotstudie	189
4-2 Temperatuurregulatie: individuele uitspraken en schema's van groep 1	195
4-3 Temperatuurregulatie: individuele uitspraken en schema's van groep 2	197
5-1 Onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'	199
6-1 Frequentietabellen scores A-opdrachten met toelichting	245
6-2 Frequentiegrafieken scores A-opdrachten	251
6-3 Regressie-/progressietabellen	255
6-4 Proefwerkvragen bij de lessenserie 'Geregeld overleven'	263
SUMMARY	267
CURRICULUM VITAE	269
NAWOORD	271

1 INLEIDING

1.1 Plaatsbepaling en achtergrond van deze studie

De invoering van een nieuw examenprogramma voor biologie in het VWO -in 1993- werd voorafgegaan door een periode van heroriëntatie op de doelen en de invulling van het biologieonderwijs. Ook de Vakgroep Didactiek van de Biologie van de Faculteit Biologie van de Universiteit Utrecht nam deel aan deze vernieuwingsactiviteiten. Dit hield in dat de vakgroep -in het kader van het Project Bovenbouw Biologie (PBB)-verantwoordelijk was voor de opzet en de uitvoering van enkele van de deelprojecten [A, zie Noten] waarbij voorbeeldmateriaal werd ontwikkeld om biologiedocenten te ondersteunen bij het vernieuwen van hun onderwijs. In deze studie doe ik verslag van de onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten die in samenhang met het PBB-deelproject 'Homeostase' werden ondernomen om te komen tot een onderwijsontwerp voor klas 5VWO over de thematiek van regulatie en homeostase en wordt gerapporteerd over het onderzoek naar de effecten van het gebruik van dit ontwerp in de klaspraktijk.

Voordat de probleemstelling en de doelstelling van deze studie aan de orde komen, geef ik eerst een overzicht van vernieuwingsimpulsen die -in meer of mindere mate- hebben bijgedragen aan veranderingen in het biologieonderwijs gedurende de laatste decennia. Daarbij wordt ook ingegaan op de aanleiding om de vakinhoudelijke thematiek van regulatie en homeostase te kiezen als vernieuwingsinhoud van deze studie en wordt de context geschetst van de vernieuwingsronde waarbinnen deze studie een plaats heeft.

Tot in het begin van de zeventiger jaren werd het gezicht van de biologie in het voortgezet onderwijs in Nederland en daarbuiten bepaald door de universitaire disciplinaire traditie: de indeling, de selectie en de wijze van behandeling van de leerstof waren -meestal- een weerspiegeling van het vak biologie zoals daaraan door de universiteiten inhoud en vorm werdgegeven.

In 1966 stelde Buter [1] dat '.....traditionele vakaanpak zich bijna altijd concretiseert in onderwerpen en zelden in samenhangende structuren'. Buter wilde met deze uitspraak aangeven dat in het biologieonderwijs van oudsher de leerstof onderwerpsgewijze wordt behandeld, en dat dit maar zelden op een wijze gebeurt waarbij ook de grote lijnen, verbanden en denkwijzen van het vak zichtbaar worden.

Met dit laatste punt refereerde Buter aan een van de uitgangspunten van het Amerikaanse onderwijsvernieuwingproject BSCS, dat in de zestiger jaren grote invloed had op het biologieonderwijs in de Verenigde Staten [B].

De vernieuwende impulsen van het BSCS-project kwamen onder meer voort uit een interdisciplinaire aanpak: bij het ontwikkelen van nieuw onderwijs werd samengewerkt door vak(wetenschappelijke) en onderwijs(wetenschappelijke) experts.

Op grond van een fundamentele bezinning op het eigene van de biologie -'de identiteit van het vak'- werd in het BSCS-project een belangrijke vernieuwende stap genomen: de traditioneel-disciplinaire optiek werd verlaten en werd vervangen door een andere invalshoek, nl. één waarbij de *vakstructuur* richtinggevend zou zijn voor de keuze en ordening van de leerstof.

Essentieel hierbij was dat er vanuit een *totaalvisie op het vak biologie* inhoud en vorm werd gegeven aan het biologieonderwijs. *De eigen aard, de inhoud en de denken en werkwijzen van het vak biologie* zouden tot uiting komen zowel in de *ordening en selectie van leerstof* als in de *wijze waarop in school werd gewerkt*. Dit betekende bijvoorbeeld dat de verschijnselen, processen en verbanden die typerend zijn voor 'leven' in samenhangende kaders aan de orde werden gesteld. In de BSCS-visie zou het biologieonderwijs dan ook die essenties van het denken en handelen in de biologie moeten overbrengen die leiden tot 'kennis over leven'.

Op basis van een aantal funderende studies, o.m. van DeHart Hurd [2], zijn in de handboeken bij het BSCS-materiaal (Klinckmann [3], Mayer [4]) de typering en kaders uitgewerkt waarin de vakstructuur zichtbaar wordt en die richting kunnen geven aan het selecteren en ordenen van de leerstof. De belangrijkste hiervan zijn:

- een typering van de hiërarchische ordening van levende systemen: de *biologische organisatieniveaus* [C],
- een typering van de vakinhoud via zgn. *basisthema's*: overkoepelende kaders waarmee de karakteristieke en wezenlijke kwaliteiten van leven en levende systemen worden aangeduid [D],
- een typering van de *werk-en denkwijzen* in het vak biologie: hoe kwam en komt kennis over levende systemen tot stand: natuurwetenschap als onderzoek(sactiviteit), en de ontwikkeling van biologische kennis en begrippen [E].

In de BSCS-filosofie vervullen de basisthema's een rode-draad functie, die bij de ontwikkeling van het BSCS-materiaal verweven zouden worden met de biologische organisatieniveaus, als schering en inslag [F]. Daarnaast zou het gebruik van denken en werkwijzen uit de vakwetenschap tot andere benaderings- en behandelwijzen van het vak biologie in school moeten leiden.

De vernieuwingsimpulsen uit de Verenigde Staten drongen in de zestiger jaren ook door tot het biologieonderwijs in Nederland, en beïnvloedden mede het ontstaan van een nieuw examenprogramma en een nieuw leerplan voor biologie.

In de Programmabasis Leerplan Biologie [5] die in 1967 werd gepubliceerd, is gepoogd om -in navolging van het BSCS-project- de eigen aard en inhoud van het vak biologie zichtbaar te maken aan de hand van een thematische benadering. Dit document fungeerde als grondslag voor het Examenprogramma Biologie dat in 1974 werd ingevoerd. Op grond van dit programma vond vanaf dat jaar de toetsing plaats door middel van een centraal schriftelijk eindexamen en een schoolonderzoek. Dit was een novum voor het schoolvak biologie.

In de tachtiger jaren werd vanuit de Commissie Herziening Examenprogramma's Biologie en Leerplan Biologie een volgende vernieuwingsronde in gang gezet. De activiteiten van de Werkgroep Eindexamens Biologie (WEB) van deze commissie leidden in 1986 tot een voorstel voor een nieuw examenprogramma [6]. Dit voorstel vormde de basis voor de uiteindelijke Regeling examenprogramma biologie VWO [7], die in werking is getreden op 1 augustus 1993. In dit programma is de leerstof verdeeld over vier paragrafen, waarvan -zo staat vermeld in de toelichting bij dit programma- 'de indeling is gebaseerd op de belangrijkste levenskenmerken', nl. structuren, levenscyclus, stofwisseling en stabiliteit en verandering.

Een nadere verantwoording voor de keuze van deze inhoudelijke thema's ontbreekt in het examenprogramma en in de WEB-documenten die aan dit programma ten grondslag liggen. In verband hiermee is interessant om kennis te nemen van het commentaar van de Afdeling Onderwijs van het NIBI [8] op de concept-versie van genoemd voorstel [6]. In dit commentaar werd gesignaleerd dat de argumentatie voor een aantal specifieke keuzes ontbreekt. De biologie-doelstelling werd omschreven als 'wel erg beperkt: inzicht in de complexiteit van de levende natuur ontbreekt'. Om die reden werd in het commentaar voorgesteld om deze te omschrijven als 'leerlingen kennis en inzicht bij te brengen met betrekking tot levensvormen, levensprocessen, complexiteit van biologische systemen, samenhang en onderlinge relaties in de levende wereld'. Ook werd in het commentaar opgemerkt dat 'zou kunnen worden toegevoegd dat het begrip voor het feit dat biologische, levende systemen méér zijn dan de som van de samenstellende delen, het vak juist onderscheidt van vele andere vakken; dit begrip is van directe invloed op het omgaan met deze systemen'. Als voorbeeld voor een 'meer evenwichtige en consistente omschrijving van de aandachtsvelden' in het examenprogramma werd in het NIBI-commentaar gewezen op de Programmabasis Leerplan Biologie uit 1967 [5].

Samengevat kan worden gesteld dat in dit commentaar tot uiting kwam dat -naar het oordeel van de vakorganisatie van biologen- de aard en inhoud van het vak biologie in de nieuwe voorstellen zeker niet beter werd gerepresenteerd dan in de Programmabasis die ruim 15 jaar eerder was ontstaan.

1.2 Probleemstelling

Indien in het BSCS-materiaal wordt nagegaan hoe en waar de karakteristieken van het vak zijn uitgewerkt dan blijkt dat het basisthema *regulation and homeostasis* onderbelicht is. Door Ausubel [9] werd dit al in 1966 gesignaleerd in een kritische

bespreking van de opbouw en inhoud van de ontwikkelde BSCS-materialen. Ausubel merkt op dat van de basisthema's -die dus een integratieve functie zouden moeten vervullen- er enkele 'do not appear until late in the game'. Als voorbeeld hiervan wordt met name het thema regulatie en homeostase genoemd. Volgens Ausubel kan van basisthema's slechts een integratieve werking uitgaan als deze vanaf het begin aan de orde worden gesteld.

Van het uitgangspunt dat de biologische thematiek van regulatie en homeostase een van de rode draden zou moeten vormen van het biologieonderwijs, is in het BSCS-materiaal dus weinig terug te vinden. Kennelijk zijn de BSCS-ontwikkelaars er destijds niet in geslaagd om dit basisthema op een adequate wijze uit te werken en in het materiaal zichtbaar te maken.

In de Programmabasis Leerplan Biologie [5] -uit 1967- wordt het begrip 'homeostase' geplaatst binnen het thema Instandhouding van het levende organisme en omschreven als de 'regulatie van het inwendig milieu'. In de bindende uitwerking van het Definitieve Examenprogramma Biologie, de zgn. Interpretatie [10] -uit 1974-, wordt in de VWO-versie in het hoofdstuk Bouw en functie van het organisme de term homeostase gebruikt in verband met de endocriene beïnvloeding van het interne milieu.

In de Regeling examenprogramma biologie [7] -uit 1993- komt in het kader van de paragraaf Stabiliteit en verandering het onderwerp regulatie aan de orde, waarbij vooral de werking van het zenuwstelsel en de hormonale regulatie aandacht krijgen. Het begrip homeostase wordt niet in het programma vermeld, maar wel wordt -in een ander verband- bij de mens gesproken van een 'constant intern milieu'.

In de beide opeenvolgende examenprogramma's is weliswaar sprake van een heroriëntatie op de vakinhoudelijke doelen, prioriteiten en accenten maar is niet gekozen voor een meer fundamenteel-biologische benadering van het belangrijke thema regulatie en homeostase.

Geconcludeerd moet worden dat het BSCS-materiaal weinig gegevens oplevert voor het concretiseren van dit thema, en dat ook het thans geldende VWO-examenprogramma slechts weinig aanwijzingen oplevert voor de invulling ervan in de Nederlandse onderwijssituatie.

In contrast hiermee moet worden geconstateerd dat regulatie en homeostase in de vakwetenschap onverminderd worden gezien als fundamentele kenmerken en verschijnselen van leven. Gezaghebbende biologen als Ayala [11], Von Bertalanffy [12], H.W.Smith [13], Hill & Wyse [14] en Prosser [15] kwalificeren regulatie en homeostase als een van de meest karakteristieke eigenschappen van het leven: de ontwikkeling en het voortbestaan van het leven op aarde was en is mogelijk door het vermogen tot zelfhandhaving van organismen, waarbij homeostase in veel gevallen als de essentiële factor wordt aangeduid. Daarmee onderstrepen deze experts dat regulatie en homeostase als centrale concepten in de biologie moeten worden beschouwd.

Wil het biologieonderwijs er toe leiden dat leerlingen inzicht krijgen in deze belangrijke concepten, dan zou de thematiek van regulatie en homeostase en het

belang ervan duidelijk in het onderwijs naar voren moeten komen. Het ontbreken van een wetenschappelijk onderbouwde theorie of traditie met betrekking tot de leer- en onderwijsbaarheid van deze thematiek in het voortgezet onderwijs vormt daarmee de *probleemstelling* van deze studie.

1.3 Doelstelling

Het *doel van deze studie* is om te komen tot *aanwijzingen en aanbevelingen* voor het inrichten van effectief biologieonderwijs over regulatie en homeostase, die zijn gebaseerd op onderzoek en om aldus bij te dragen aan een wetenschappelijke fundering van uitspraken van vakdidactische aard. Met effectief biologieonderwijs wordt bedoeld dat dit onderwijs ertoe leidt dat leerlingen kennis en inzicht verwerven inzake principes en verschijnselen van regulatie en homeostase, dat zij de betekenis ervan binnen de biologie onderkennen en dat zij deze kennis kunnen gebruiken en toepassen in voor hen relevante situaties. Als breder maatschappelijk doel wordt beoogd om bij te dragen aan de ontwikkeling van het schoolvak door aan scholen en docenten gegevens en materiaal ter beschikking te stellen voor gebruik in de biologie-onderwijspraktijk. Dit laatste kan er toe leiden dat de thematiek van regulatie en homeostase de positie en aandacht in het onderwijs krijgt die er gezien het essentiële belang voor leven en overleven aan moet worden toegekend.

1.4 Nadere probleemverkenning

Doel van deze studie is het opvullen van de gesignaleerde lacune: er bestaan geen voorbeelden, theorie (in de zin van aanvaarde vuistregels) of traditie voor het opzetten en onderwijzen van dit thema. Dit in tegenstelling tot enkele andere kernthema's uit de biologie. Enerzijds wordt -zowel door vakbiologen, als in de leerplan- en programmadocumenten- aangegeven dat het thema regulatie en homeostase een *kernthema* is in de biologie en daarmee voor het biologieonderwijs, anderzijds ontbreekt een fundamentele benadering en daarop gebaseerde uitwerking ten behoeve van het onderwijs. De in het BSCS-project gekozen invalshoek, waarbij de vakstructuur een belangrijk criterium vormde voor de leerstofselectie en de leerstofordening, heeft kennelijk niet kunnen bijdragen aan het opvullen van de lacune.

Buter [1] stelt in een commentaar op de BSCS-programma's en -materialen dat ook de aard en wijze van kennisverwerving door leerlingen belangrijke referentiepunten moeten zijn bij de keuze en ordening van de leerstof. Hierin ligt mogelijk een van de achtergronden voor het feit dat in de laatste 25 jaar zo weinig progressie is geboekt in onderzoek naar de leer- en onderwijsbaarheid van de thematiek van regulatie en homeostase. Bij de keuzes voor het beoogde onderwijs was immers sprake van het eenzijdige primaat van de -weliswaar sterk geactualiseerde- biologische inhoud ten opzichte van andere mogelijke overwegingen. Ook Ausubel doet uitspraken in deze richting [9].

Ten aanzien van de vooronderstellingen over de wijze waarop leerprocessen verlopen, was de BSCS-filosofie in de cognitieve psychologie geworteld. Dit betekende dat leren werd gezien als een proces van informatieverwerking waarbij kennis wordt opgeslagen in het geheugen van de lerende, en waarbij aansluiting op het bekende tot 'meaningful learning' leidt. Nieuwere inzichten in en theorieën over kennisverwerving en leren leggen veel nadruk op het constructie-karakter van kennisontwikkeling, waarvoor de individuele voorkennis van de leerling de basis vormt. Deze laatste visie heeft belangrijke consequenties voor de inhoud en vorm van het onderwijs. Het voorgaande wijst op de noodzaak om vóór alles te komen tot een bezinning op de *uitgangspunten* die de richting zullen bepalen van de vernieuwing van het biologieonderwijs over de thematiek van regulatie en homeostase.

1.5 Opzet van dit proefschrift: leeswijzer

De opzet van dit proefschrift weerspiegelt het traject dat tijdens deze studie is gevolgd en dat -globaal- in drie fasen kan worden verdeeld.

De *eerste fase* stond in het teken van het kiezen van uitgangspunten en het uitvoeren van een aantal hiermee verbonden nadere verkenningen.

In hoofdstuk 2 wordt gerapporteerd over de bezinning op de uitgangspunten voor het vernieuwen van biologieonderwijs in het algemeen en voor onderwijs over regulatie en homeostase in het bijzonder.

Als kader wordt daarbij gebruik gemaakt van een drietal invalshoeken, waarbij op grond van overwegingen van maatschappelijke, vakwetenschappelijke en onderwijs-wetenschappelijke aard de uitgangspunten gekozen worden.

Tevens wordt in dit hoofdstuk nagegaan ten aanzien van welke aspecten nader (voor)onderzoek noodzakelijk of wenselijk is. Hierover wordt in de volgende twee hoofdstukken gerapporteerd.

In hoofdstuk 3 wordt verslag gedaan van het (literatuur)onderzoek naar het gebruik en de betekenis van het begrip homeostase in de vakdiscipline en in het secundair onderwijs. Het doel hiervan is om te komen tot een beschrijving en typering van de begripsinhoud waarvan gebruik gemaakt kan worden in het biologieonderwijs, en voorts om gegevens en voorbeelden te verzamelen voor het concretiseren van dit onderwijs.

In hoofdstuk 4 staat empirisch onderzoek bij leerlingen naar voorkennis over regulatie en homeostase centraal. Hierbij wordt eerst nagegaan welke empirische gegevens hierover worden gevonden in vakdidactische onderzoeksliteratuur. Vervolgens worden twee pilotstudies gerapporteerd.

In de *tweede fase* werden de in fase 1 verzamelde bouwstenen geconcretiseerd in de vorm van een onderwijsontwerp. Deze fase was meer praktijkgeoriënteerd van karakter dan fase 1: behalve met de gekozen uitgangspunten en de verzamelde onderzoeksgegevens diende ook rekening gehouden te worden met randvoorwaarden en wensen uit de onderwijspraktijk.

In hoofdstuk 5 wordt verslag uitgebracht van de activiteiten van de PBB-ontwikkelgroep 'Homeostase' en worden de opzet en de invulling van het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' beschreven en verantwoord.

In de *derde fase* werd onderzoek in de klas gedaan naar het verloop en de effecten van de onderwijsinterventie: de lessenreeks die aan de hand van het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' is uitgevoerd in drie 5 VWO-klassen. Dit onderzoek en de verkregen gegevens inzake kennisontwikkeling bij leerlingen worden gerapporteerd in hoofdstuk 6.

Tenslotte wordt in hoofdstuk 7 teruggeblikt op deze studie als geheel en worden aanbevelingen gedaan met betrekking tot het biologie-onderwijs in het algemeen en het onderwijs van het thema regulatie en homeostase in het bijzonder. In verband hiermee worden tevens aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Noten

- [A] Het Project Bovenbouw Biologie had als doel het ontwikkelen van voorbeeldmateriaal rond enkele thema's die in het nieuwe eindexamenprogramma aan de orde komen.
Het project was een project van het Instituut voor Leerplanontwikkeling (SLO), op aanvraag van de overheid en de Nederlandse Vereniging voor Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVON), op initiatief van een groep samenwerkende universitaire vakdidactici biologie. Aan het project werd meegewerkt door de Universiteit Utrecht (Vakgroep Didactiek van de Biologie / CD8), de Vrije Universiteit Amsterdam (Vakgroep Biologie en Onderwijs / IDO), en de Rijksuniversiteit Groningen / ULO Biologie). Het deelproject PBB-Homeostase werd, met het deelproject PBB-Genetica, uitgevoerd door de Vakgroep Didactiek van de Biologie, Universiteit Utrecht.
- [B] Het Biological Sciences Curriculum Study (BSCS)-project werd rond 1960 gestart met als doel het biologie-onderwijs in de Verenigde Staten te vernieuwen. Samen met projecten voor de andere natuurwetenschappelijke vakken was dit een reactie op de schok die in Amerika was ontstaan na de lancering in 1957 van de Spoetnik door de Sovjet Unie. Het besef van een technologische achterstand leidde tot omvangrijke investeringen in onderwijskundig en vakdidactisch onderzoek en ontwikkelingswerk.
Voor het vak biologie kwamen drie omvangrijke 'textbooks' tot stand, de zgn. *versions*. Iedere version omvat in principe het hele domein van de biologie op secundair niveau, maar de accentlegging en invulling verschilt per versie. Zo is de 'Yellow Version' het meest traditioneel van opbouw en inhoud, met de meeste aandacht voor de niveau's cel, orgaan en organisme. De 'Blue Version' is vnl. biochemisch en moleculair-biologisch van karakter. In de 'Green Version' ligt het accent op een oecologische benadering van leven en levensverschijnselen.
Met dit gedifferentieerde assortiment werden scholen en docenten keuzemogelijkheden geboden. Buter [1] en Van der Grinten brachten veel gegevens over het BSCS-project binnen het gezichtsveld van het Nederlandse onderwijs.
- [C] Mayer [4] signaleert dat traditioneel biologie-onderwijs twee organisatieniveaus betrof, nl. dat van het organisme als geheel, en dat van organen en weefsels, wat aansloot op de benadering van biologische objecten vanuit de systematiek en de morfologie.
In aansluiting op nieuwe zienswijzen in het vak biologie wordt in de BSCS-materialen gekozen voor een invulling waarbij de volgende organisatieniveaus aan de orde komen:

1. The molecular level
2. The cellular level
3. The organ and tissue level
4. The organismic level
5. The population level
6. The community level
7. The world biome level

[D] In Klinckmann [3] worden de volgende basisthema's (zgn.unifying themes) aangegeven:

1. Change of living things through time: evolution
2. Diversity of type and unity of pattern in living things
3. The genetic continuity of life
4. The complementarity of organism and environment
5. The biological roots of behavior
6. The complementarity of structure and function
7. Regulation and homeostasis: preservation of life in the face of change
8. Science as enquiry
9. The history of biological conceptions

In de toelichting merkt Klinckmann het volgende op:

The nine unifying themes are listed in an order and arrangement that suggest their interconnections. The first five concern the *content* of our texts. The last two concern the logical *structure* of our texts, the context of data and inference through which their content is conveyed. The remaining two (themes 6 and 7) are intermediate; they concern both structure and content.

[E] Deze typering komt tot uiting in de basisthema's 8. *Science as enquiry* en 9. *The history of biological conceptions*.

Klinckmann [3]: This theme (Science as enquiry) concerns the materials and means by which, ideally, all subjects would be treated in the BSCS texts. It also represents one of the most radical departures of the BSCS texts from conventional patterns. The essence, then, of a teaching of science as enquiry would be to show some of the conclusions of science in the framework of the way they arise and are tested.

[F] In Mayer [4] zijn deze verwevingsprincipes zichtbaar gemaakt in onderstaand schema. Hierin komen naar voren de biologische organisatieniveaus, de basisthema's en de niveaus van kennisgebruik door de lerende.

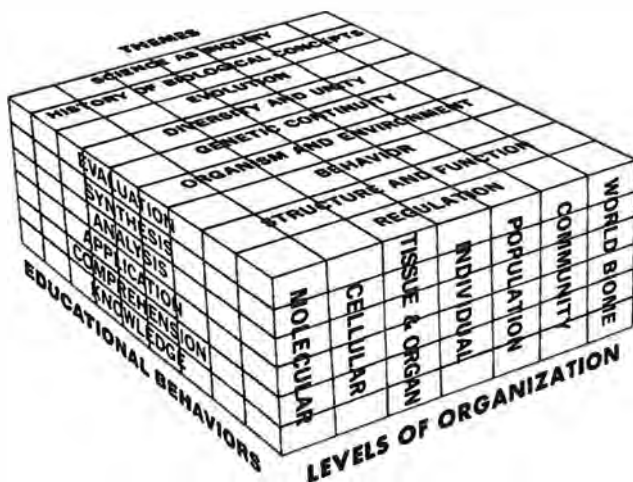


FIGURE 1.1 The levels of biological organization, the major conceptual themes of biology, and a hierarchy of educational behaviors combine to form a matrix for the design of biological curriculum materials.

Referenties

- [1] Buter, E.M. (1971) *Didactiek van de Biologie*. Muusses, Purmerend
- [2] DeHart Hurd, P. (1961) *Biology Education in American Secondary Schools 1890-1960*. BSCS Study Bulletin No.1. Am.Inst.of Biol.Sciences, Washington.
- [3] Klinckmann, E.,ed.(1970) *BSCS Biology Teachers' Handbook*. 2nd. ed. John Wiley, New York.
- [4] Mayer, W.V.,ed.(1978) *BSCS Biology Teachers' Handbook*. 3rd. ed. John Wiley, New York.
- [5] *Programmabasis Leerplan Biologie* (1967). Biologische Raad, KNAW, Amsterdam.
- [6] *Op weg naar een nieuw examen biologie: concept examenprogramma biologie voor VWO* (1986). Werkgroep Eindexamens Biologie, Commissie Herziening Examenprogramma's Biologie en Leerplan Biologie voor Rijksscholen avo/vwo.
- [7] *Regeling examenprogramma biologie v.w.o.* (1991). Uitleg, O.& W.regelingen 14, Den Haag.
- [8] Embden, H.M.van (1984) *Op weg naar een nieuw examen biologie*. Bull.Onderw.Biol. 15 (89), 67-70.
- [9] Ausubel, D.P. (1966) *An Evaluation of the BSCS Approach to High School Biology*. The American Biology Teacher 28(3), 176-186.
- [10] *Interpretatie VWO* (1981). CMLB / NVON, Publikatiefonds Bulletin Onderwijs Biologie.
- [11] Ayala, F.J. (1972) *The autonomy of biology as a natural science*. In: A.D.Breck & W.Yourgrau, eds., *Biology, History and Natural Philosophy*. Plenum Press, New York.
- [12] Bertalanffy, L. von (1972) *The model of open systems: beyond molecular biology*. In: A.D.Breck & W.Yourgrau, eds., *Biology, History and Natural Philosophy*. Plenum Press, New York.
- [13] Smith, H.W. (1961) *From fish to philosopher*. Doubleday, New York.
- [14] Hill, R.W. & G.A. Wyse (1989) *Animal Physiology*. Harper & Row, New York.
- [15] Prosser, C.L. (1975) *Levels of biological organization and their physiological significance*. In: J.A.Moore, ed.: *Ideas in Modern Biology*. Natural History press, New York.

2 UITGANGSPUNTEN VOOR VERNIEUWING VAN BIOLOGIEONDERWIJS: kader voor ontwikkelings- en onderzoeksactiviteiten

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wil ik uitgangspunten formuleren aan de hand waarvan het biologie-onderwijs over de thematiek van regulatie en homeostase in de bovenbouw van het Voorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs (VWO) kan worden vernieuwd.

Jensen [1] benadrukt dat -naast overwegingen van wetenschappelijke en maatschappelijke aard- visies op mens, opvoeding en onderwijs een belangrijke plaats innemen bij het kiezen van de uitgangspunten voor onderwijs. Treffers [2] geeft aan dat 'een didactische positie sterk ideologisch bepaald kan zijn': in zo'n geval kunnen waardeoordelen en normen zelfs bepalend zijn voor de inrichting van het onderwijs en komen overwegingen van (leer-)doelmatigheid pas op de tweede plaats.

Enkele van de visies die mede richting kunnen geven aan de beoogde vernieuwing werden in het voorgaande hoofdstuk reeds kort aangeduid. Voor een gerichte bezinning op de te kiezen uitgangspunten maak ik in deze studie gebruik van een kader dat correspondeert met dat van Hooymayers en Lijnse [3]. Deze auteurs maken voor het bepalen van uitgangspunten gebruik van een viertal invalshoeken (door hen ook wel standpunten genoemd), en omschrijven dit als 'het funderen en vernieuwen van het onderwijs in het betrokken schoolvak vanuit a.) maatschappelijk standpunt, b.) pedagogisch standpunt, c.) psychologisch standpunt, d.) vakwetenschappelijk standpunt'.

Het kader waarvan ik gebruik maak, heeft drie invalshoeken, die ik als volgt typeer:

- *een vakwetenschappelijke invalshoek*, waarbij het gaat om het aangeven van de relatie tussen de vakdiscipline en het beoogde vakonderwijs. Hierbij stel ik primair de vraag aan de orde welke invloed opvattingen en gegevens uit de vakdiscipline moeten hebben op de vakinhoudelijke component van het onderwijs, of -met andere woorden- hoe vakwetenschappelijke kennis en inzichten vertaald moeten worden in inhouden van het (voortgezet) onderwijs.

- *een onderwijswetenschappelijke invalshoek*, waarbij overwegingen van leer- en ontwikkelingspsychologische, pedagogische en innovatieve aard aan de orde komen. Met deze benadering wil ik tot uitdrukking brengen dat onderwijs wordt gezien als een geïntegreerde leer-opvoedingssituatie waarin noties vanuit verschillende deeldisciplines samenkomen. Ter aanvulling op het kader van Hooymayers en Lijnse [3] zal ik bij het formuleren van uitgangspunten ook overwegingen van innovatieve aard betrekken aangezien deze mede het succes van de vernieuwing kunnen beïnvloeden. Overwegingen van onderwijssociologische aard worden niet in aanmerking genomen aangezien deze hoofdzakelijk betrekking hebben op het macro- en meso-niveau van het onderwijs.

De verkenning van opvattingen en gegevens uit de onderwijswetenschappen moet uitgangspunten opleveren die als grondslag kunnen dienen voor het opzetten en uitwerken van het beoogde onderwijs.

- *een maatschappelijke invalshoek*, die wordt gehanteerd om de uitgangspunten voor onderwijs te formuleren die voortkomen uit maatschappelijke eisen of wensen. Deze moeten ertoe bijdragen dat de lerende kan voldoen aan de toekomstige verwachtingen en kan omgaan met de uitdagingen vanuit de samenleving.

Voor wat betreft het karakter van de te formuleren *uitgangspunten* merk ik op dat sommige van deze uitgangspunten zullen moeten worden *gekozen* terwijl andere als *gegeven* voortkomen uit de school-maatschappelijke context.

Nadat in dit hoofdstuk de uitgangspunten voor het vernieuwen van het onderwijs zijn omschreven, wordt aan het einde ervan aangegeven welke vervolgvragen eerst nog moeten worden beantwoord voordat de uitgangspunten geconcretiseerd kunnen worden in de richting van de onderwijspraktijk. Sommige van deze vragen kunnen rechtstreeks beantwoord en verder uitgewerkt worden, bij andere is literatuuronderzoek of empirisch onderzoek noodzakelijk om tot beantwoording ervan te komen.

2.2 De biologie als invalshoek: de identiteit van de vakdiscipline

Vertrekpunt bij het funderen en vernieuwen van het biologie-onderwijs in het VWO is dat in dit onderwijs de eigen aard en de inhoud van de vakdiscipline zo goed mogelijk tot uitdrukking moeten komen. Dit betekent dat de visies en opvattingen die gezichtsbepalend zijn voor de vakwetenschap biologie een belangrijk referentiekader vormen voor dit biologie-onderwijs. Dit laatste geldt zowel voor de uitgangspunten als voor de uitwerking van de inhoud en de vorm van dit onderwijs.

Direct in het verlengde hiervan ligt de vraag van *welke* visies en opvattingen en daarmee verbonden kennis en inzichten gebruik gemaakt moet worden om de eigen aard en inhoud van het vak te typeren.

Om deze vraag te beantwoorden bespreek ik eerst in het kort de twee visies op leven en levensverschijnselen die sedert ca. 1850 gezichtsbepalend zijn geweest voor het denken en doen in het vak biologie, de vitalistische en de mechanistisch-reductionistische visie. Vervolgens bespreek ik uitvoeriger de organicistische visie [A] die -zoals naar voren komt uit de publicaties van Gerard [4], Beckner [5], Ayala [6], Mayr [7], Mercer [8], Rosenberg [9] en Sattler [10]- in de laatste decennia door vooraanstaande biologen wordt gezien en gehanteerd als de overkoepelende en synthetiserende visie op leven en levensverschijnselen.

De *vitalistische visie* op leven, die tot het einde van de vorige eeuw in de biologische wetenschappen domineerde, heeft als kern ('belief') dat het leven bezielde ('animated') is: 'Life is infused by a vital principle which is absent in nonliving matter and which has been conceived of as a vital substance, fluid of force, to which different names have been given such as entelechy, élan vital, soul.' [10].

In de *mechanistisch-reductionistische visie* op leven, die het denken en handelen in de biologie vanaf het begin van deze eeuw is gaan bepalen, worden levensvormen beschouwd en geduid als fysisch-chemische of mechanische eenheden ('machines'). Met deze benaderingswijze van leven ontwikkelde zich een grote diversificatie in subdisciplines en in onderzoek, met een verschuivend accent van het organisme naar het microscopisch en sub-microscopisch niveau.

De *organicistische visie* op leven, die ook wel wordt aangeduid als een holistische visie, vormt de tegenpool van een reductionistische opvatting over leven.

De kern van de organicistische visie wordt gevormd door de principes van de Algemene Systeem Theorie van Von Bertalanffy [11]. In deze theorie worden levende systemen getypeerd als open systemen die in een continue wisselwerking staan met hun systeemomgeving. Het specifieke en unieke karakter van een levend organisme komt tot uiting in het vermogen tot zelfhandhaving van het systeem, gebaseerd op een continue aan- en afvoer van stof, energie en informatie. Voor zover het organisme een vaste structuur vertoont, wordt ook deze structuur zelf gehandhaafd op basis van een continu, dynamisch proces van opbouw en afbraak. Het zelforganiserende en zelfhandhavende vermogen van een levend systeem wordt aangeduid als *autopoiese*. Het zelforganiserende vermogen manifesteert zich op verschillende niveaus van organisatie en complexiteit. Deze niveaus worden wel aangeduid als *biologische organisatieniveaus*, en vertonen een vaste onderlinge hiërarchische ordening.

De organisatie van levende systemen resulteert -aldus Beckner [5]- in 'the emergence of new properties', wat betekent dat deze georganiseerde eenheden ('systemen') beschikken over zgn. *emergente eigenschappen*. Deze kunnen niet worden afgeleid uit de eigenschappen van de afzonderlijke, samenstellende delen ('subsystemen'). Tenslotte heeft bij levende systemen de *historische dimensie* een unieke betekenis. Alle levende systemen hebben een geschiedenis waarin een voorgaand systeem heeft bijgedragen aan de huidige structuur en functie, en waarbij sprake is van een ontwikkeling in de tijd die veelal onomkeerbaar is.

De opkomst van de organicistische visie wordt door o.m. Rosenberg [9] gezien als een doorbraak in de discussies rond het eigen karakter van de biologie als discipline. Rosenberg typeert deze discussies als 'autonomism versus provincialism', en wijst aldus op de tegenstelling tussen de visie dat adequaat beschrijven en duiden van het leven slechts mogelijk is met behulp van een eigenstandige bio-logica en de visie dat daarvoor het taal-, tekens- en regels-systeem van de fysische en chemische disciplines toereikend is. In dit laatste geval zou de biologie een 'provincie' van deze disciplines zijn. Deze auteur onderschrijft de opvatting van Von Bertalanffy [11] dat in de organicistische visie ook de mechanistisch-reductionistische en de vitalistische opvattingen zijn geïncorporeerd. Er is sprake van een synthese: in de typering en duiding van het fenomeen leven is mede begrepen de fysisch-chemische basis ervan. Strijbos [12] omschrijft dit als volgt: 'De hoofdprincipes van het organicisme stellen ons in staat de tegenstellingen tussen mechanisme en vitalisme te overbruggen'.

Uit het voorgaande komt naar voren dat de organicistische visie binnen de biologie geldt als een overkoepelende 'philosophy of bio-science'. Deze visie fungeert als een unificerende theorie waarmee de wezenskenmerken van leven tot uitdrukking worden gebracht. Op grond hiervan concludeer ik dat deze visie daarmee een passend raamwerk vormt om de essenties van leven en levensverschijnselen -en daarmee van het vak biologie- in het onderwijs zichtbaar te maken. *Dit betekent dat in deze studie de organicistische visie als grondslag wordt genomen voor (het vernieuwen van) het vak biologie in het voortgezet onderwijs*.

Deze keuze wordt gesteund door Schaefer [13] die voorbeelden geeft van de wijze waarop met behulp van de systeembenadering leven en levensverschijnselen op een 'holistische wijze' aan de orde gesteld kunnen worden in het onderwijs.

Tevens houdt de keuze voor de organicistische visie in dat de thematiek van regulatie en homeostase op basis van deze visie aan de orde wordt gesteld. Om vast te stellen welke consequenties dit laatste heeft voor de verdere invulling van de vakinhoudelijke component van het onderwijs, moet nader onderzoek worden verricht: nagegaan moet worden *-met het oog op gebruik in het onderwijs- welke kennis en inzichten bestaan in de vakwetenschap rond de thematiek van regulatie en homeostase, in relatie met de organicistische visie op leven*. Dit onderzoek komt aan de orde in hoofdstuk 3.

2.3 De onderwijswetenschappen als invalshoek

2.3.1 Inleiding

De oriëntatie op de onderwijswetenschappen heeft tot doel om te verkennen van welke (onderzoeks)gegevens gebruik gemaakt kan worden bij het formuleren van de uitgangspunten voor het beoogde onderwijs, en -meer specifiek- voor de daarbij te hanteren didactiek. Achtereenvolgens worden daartoe inzichten van leer- en ontwikkelingspsychologische (§ 2.3.2), pedagogische (§ 2.3.3) en innovatieve aard (§ 2.3.4) besproken.

2.3.2 Oriëntatie op leer- en ontwikkelingspsychologische uitgangspunten

In literatuur aangaande het leren en onderwijzen van natuurwetenschappelijke vakken spelen *algemene theorieën* [B] en inzichten van leerpsychologische, ontwikkelingspsychologische of epistemologische aard een belangrijke rol. Om deze reden ga ik eerst kort in op de belangrijkste theorieën aangaande kennisverwerving en/of leren die het onderwijs in deze schoolvakgebonden onderwijs-leersituaties bepalen of hebben bepaald.

Vervolgens zal ik het veld van oriëntatie inperken en mij richten op domeinspecifieke literatuur die betrekking heeft op het onderwijs in (een van) de natuurwetenschappelijke schoolvakken. Daarbij staat een oriëntatie op constructivistische visies op leren en onderwijzen centraal en wordt met name verkend hoe *theoretische* inzichten kunnen worden vertaald in de richting van de vak-onderwijspraktijk.

De verkregen aanwijzingen worden vervolgens samengebracht in uitgangspunten voor de didactische praktijk. Tenslotte worden enkele van deze uitgangspunten nader verkend en uitgewerkt.

2.3.2.1 Hoofdstromen: kenmerken en achtergronden

In de na-oorlogse periode is het denken en handelen in het onderwijs aanvankelijk bepaald door -achtereenvolgens- *behavioristische* en *cognitief-psychologische* leertheorieën. In het laatste decennium domineren in de literatuur over het onderwijs in de wiskunde en natuurwetenschappen *constructivistische* theorieën en benaderingen. Hierna ga ik eerst kort in op de leer- en kennistheoretische achtergrond van de eerstgenoemde twee stromingen waarbij de nadruk ligt op de cognitieve psychologie van belang is aangezien op basis van deze theorie veel onderzoeksgegevens over leren en leerprocessen in de natuurwetenschappen zijn verzameld.

Vervolgens zal ik de constructivistische theorieën en benaderingen typeren en ingaan op verschillen tussen behavioristische en cognitief-psychologische theorieën enerzijds en constructivistische theorieën anderzijds.

In *behavioristische* theorieën vormt het principe van conditionering van gedrag het uitgangspunt. Behavioristische onderwijsprogramma's worden gekenmerkt door een krachtige sturing van het gedrag van de lerende. Deze sterk geprogrammeerde vorm van beïnvloeding is gericht op het bereiken van leerresultaten die objectief meetbaar zijn.

In de *cognitieve psychologie* verschuift de aandacht van het leerresultaat naar de proceskant van het leren. De wijze waarop kennis wordt opgenomen, gebruikt en geproduceerd komt meer centraal te staan. Tevens wordt meer aandacht besteed aan de functies van het geheugen en aan de lange-termijn effecten van het onderwijs. Kennis van leer- en informatieverwerkingsprocessen wordt van belang geacht voor het vervaardigen van arrangementen die vorming van stabiele en duurzame cognitieve structuren bevorderen (zie bijv. De Klerk [14]), [C].

In *constructivistische visies* wordt leren gezien als een proces van voortdurende herziening en/of uitbreiding van reeds aanwezige individuele kennis. Binnen het constructivisme kan een aantal stromingen worden onderscheiden. Een principieel verschil in visie tussen deze stromingen vloeit voort uit het antwoord op de vraag of kennisontwikkeling wordt bepaald door individuele of door sociale factoren. Als voorbeelden van de eerste opvatting noem ik stromingen als het *radicaal constructivisme* en van de tweede het *sociaal constructivisme*. Daarnaast is er sprake van *sociaal-culturele visies* op leren. In deze laatste opvatting spelen zowel de sociale als de culturele en historische bepaaldheid van kennis en kennisontwikkeling een centrale rol: volgens die visie ontwikkelt kennis zich en krijgt betekenis in maatschappelijke en culturele samenwerkingsverbanden en contexten. Ook in deze laatste visie wordt kennisontwikkeling gezien als een proces van constructie en reconstructie van betekenissen. Hoewel sociaal-culturele benaderingen zich qua vertrekpunt onderscheiden van constructivistische visies reken ik deze benaderingen tot het constructivisme, gezien de opvatting aangaande kennisontwikkeling die daarin naar voren komt.

Jonassen [15] wijst er op dat tussen het constructivisme en stromingen als het behaviorisme en de cognitieve psychologie een fundamenteel verschil in visie op de werkelijkheid bestaat. Jonassen onderscheidt een *objectivistische* en een *constructivistische epistemologie*: de opvatting dat er een objectieve werkelijkheid zou zijn, wordt geplaatst tegenover de idee dat de werkelijkheid subjectief van aard is. In deze laatste visie wordt kennis van de werkelijkheid gezien als product en construct van de menselijke geest, en is *kennisverwerving* een proces van voortdurende reconstructie van bestaande individuele kennis.

De objectivistische opvatting vormde de epistemologische grondslag van het denken van de behavioristen en werd aanvankelijk ook gehuldigd door cognitief-psychologen als Gagné [16], Ausubel [17] en Novak [18].

In een recente beschouwing over de huidige status van Ausubel's Assimilation Theory of Learning schrijft Novak [19] echter: 'The consensus toward constructivist epistemology as the framework to guiding inquiry and theory development in cognitive psychology and education in general are strongly supportive of ideas in the assimilation theory.' Novak spreekt van 'an epistemological shift away from positivism and toward constructivism, or perhaps even radical constructivism'. Novak tracht aldus de cognitieve psychologie in verbinding te brengen met constructivistische benaderingen van leer-en onderwijsprocessen.

2.3.2.2 Oriëntatie op constructivisme

Zoals reeds is opgemerkt, wordt het overgrote deel van de recente domeinspecifieke natuurwetenschappelijke onderwijs-literatuur gekenmerkt door *constructivistische* of *sociaal-culturele benaderingen* van onderwijs- en leerprocessen. Of zoals Shymansky en Kyle [20] signaleren: 'a constructivist epistemology underlies much of the current reform initiative in science education'. Aan de hand van genoemde literatuur wil ik

de *theoretische aspecten* en daarop gebaseerde *praktische uitwerkingen* van deze visies inventariseren en vervolgens komen tot uitgangspunten voor het te vernieuwen biologieonderwijs.

Tobin, Kahle en Fraser [21] geven de volgende typering van een onderwijssituatie die is gebaseerd op een *constructivistische visie*: 'Within the constructivist view, learning is defined as the acquisition of knowledge by individuals through a process of construction that occurs as sensory data are given meaning in terms of prior knowledge. Learning is always an interpretative process and always involves individuals' constructions. Constructivism is not an option to be invoked by teachers and students on specific occasions or during selected activities. Whether the teacher and students believe that they learn by constructivist processes influences what happens in classrooms and how activities are planned and improved, but does not influence the mechanics involved in learning'. Genoemde auteurs geven aan het constructivisme primair invulling als kennistheorie met belangrijke consequenties voor het didactisch handelen.

Tobin & Tippins [22] maken onderscheid tussen het *gebruik* van constructivisme 'as a method' of 'as a referent'. Dit laatste houdt in dat constructivisme fungeert als een 'set of beliefs': een geheel van opvattingen en ideeën over de aard van kennis en kennisontwikkeling die richting geven aan, en een spiegelfunctie vervullen bij, het ontwerpen en uitvoeren van onderwijs. Constructivisme 'as a method' manifesteert zich in de vorm van concrete aanwijzingen voor de onderwijspraktijk met een meer voorschrijvend karakter en heeft volgens deze auteurs tot 'effective pedagogic practices' geleid.

O'Loughlin [23] maakt onderscheid tussen 'Piagetian' constructivism' en constructivism dat 'tends to focus more on deriving curricular or pedagogical implications from the idea that learners construct their understanding or that students need to be active learners'. Bij 'Piagetian constructivism', dat ook wel wordt aangeduid als 'cognitive constructivism', gaat het om uitspraken over leerprocessen, die zijn gebaseerd op de theorie van Piaget. Een voorbeeld hiervan wordt gevonden bij Fosnot [24] die de volgende vier uitgangsprincipes formuleert voor een constructivistische benadering van onderwijs: 'knowledge consists of past constructions; constructions come about through assimilation and accomodation; learning is an organic process of reinvention, rather than a mechanical process of accumulation; meaningful learning occurs through reflection and resolution of cognitive conflict and thus serves to negate earlier, incomplete levels of understanding'.

Samenvattend kan dus worden gesteld dat constructivisme zich manifesteert als een ken(nis)theorie, een leertheorie of een onderwijstheorie, die in het laatste geval veelal wordt uitgewerkt in aanwijzingen voor de onderwijspraktijk.

Literatuur waarin een radicaal of cognitief constructivistische benadering van onderwijs wordt gekozen, heeft in het algemeen primair een ken- of leertheoretische invalshoek. Dit onderzoek vindt merendeels plaats in 'laboratorium-situaties' en staat daarmee verder af van de onderwijspraktijk.

De onderwijstheoretische positie komt voornamelijk naar voren in sociaal-constructivistische en sociaal-culturele benaderingen van onderwijs. In het vervolg van dit hoofdstuk zal ik mij daarom vooral richten op literatuur waarin uitgangspunten en voorbeelden worden gegeven voor het uitwerken van een constructivistische onderwijspraktijk die is gebaseerd op een van beide laatstgenoemde benaderingen. In deze literatuur ligt de nadruk op de invloed van sociale én culturele factoren op de individuele kennisontwikkeling.

2.3.2.3 Sociaal-constructivistische en sociaal-culturele benaderingen van onderwijs

Door Smith [25] worden *sociaal-constructivistische benaderingen* als volgt getypeerd: 'Social constructivists have advanced a view of learning as developing the ability to participate in the activities of a community that shares common knowledge, language, purposes and values'. In de richting van de onderwijspraktijk wordt dit door Smith als volgt uitgewerkt: 'Learning in this social constructive perspective is viewed as occurring in a social context or "culture of expert practice", which refers to the creation of a learning environment in which the participants actively communicate about and engage in the skills involved in expertise, where expertise is understood as the practice of solving problems and carrying out tasks in a domain'.

Driver & Bell [26] geven een uitwerking van een constructivistische visie waarin zowel de invloed van sociale als van individuele factoren op de kennisontwikkeling naar voren komt: de leeromgeving en de (voor)kennis van de lerende zijn volgens hen bepalend voor de leereffecten. Leren wordt gezien als een continu proces van (re-)constructie van betekenissen, wat inhoudt dat bestaande betekenissen worden herzien of verworpen. Onderlinge uitwisseling van inzichten en ervaringen door lerenden wordt hierbij gezien als een belangrijke activiteit, aangezien leerlingen daardoor eigen opinies leren toetsen aan die van anderen en leren argumenten en alternatieven te vergelijken, te wegen en te beoordelen. De lerenden dragen in deze visie de eindverantwoordelijkheid voor hun leerproces.

Fensham, Gunstone & White [27] gaan ervan uit dat leren altijd 'construction of meaning' inhoudt, 'whether the knowledge is discovered or received by direct transmission'. In verband met de didactische praktijk wordt gesteld dat 'construction can be guided, to a greater or lesser or more subtle extent'.

Meer op de praktijk gericht, zijn de aanwijzingen die Needham [28] geeft aan de docent die 'acknowledges that children construct their own knowledge through personal interaction with natural phenomena and through social interaction with adults and peers'. Om dit te ondersteunen zou de docent een leeromgeving moeten creëren waarin lerenden 'can recognise and reflect on their ideas; can realise that other people may hold other, but equally valid ideas; can evaluate the usefulness of these ideas alongside their teachers's scientific theories'.

Ook in verband met de didactische praktijk spreken Driver & Oldham [29] van 'a constructivist pedagogy to learning as conceptual change'. Onderdeel hiervan is een 'model for a constructivist teaching sequence', zoals dat is ontwikkeld in het kader van het project Childrens Learning In Science (CLIS). Het model kent vijf achtereenvolgende fasen die worden aangeduid met 'orientation, elicitation, restructuring, application and review'. Het model dat in de praktijk is beproefd, moet volgens de auteurs gezien worden als 'no more than a flexible outline'. In dit model zijn leerlingactiviteiten gericht op het (re-)construeren van betekenissen door te starten vanuit de eigen ideeën van de leerling en vervolgens gelegenheid te bieden om op deze ideeën voort te bouwen en deze te modificeren in de richting van de wetenschappelijke theorie.

O'Loughlin [23] geeft aan dat een sociaal-culturele onderwijspraktijk inhoudt dat 'learning is situated in contexts, that students bring their own subjectivities and cultural perspectives to bear in constructing understanding',.....'and that education into scientific ways of knowing requires understanding modes of classroom discourse and enabling students to negotiate these modes effectively'.

Nelissen [30] geeft aan dat een *sociaal-culturele benadering* van onderwijs betekent dat ontwikkeling en leren worden opgevat als processen die plaatsvinden in een sociale context waarbij de leerlingen zich het culturele erfgoed en in het bijzonder de tekensystemen eigen leren maken. Leren betekent het verwerven van in de cultuur tot stand gekomen betekenissen en kennisverwerving wordt opgevat als een constructieve activiteit. Nelissen stelt dat betekenissen zowel sociaal als cognitief van aard zijn, en '... dat in interactie, in een sociale context duidelijk wordt wat de eerder geconstrueerde betekenissen waard zijn'.... 'Pas in interactie komen kinderen (en volwassenen) er achter of de eigen betekenissen door anderen gedeeld worden.' Ook bij Van Oers [31,32] ligt het accent op de sociale én culturele bepaaldheid van kennis. Het concept van kennisontwikkeling als kennisconstructie heeft deze auteur uitgewerkt in de richting van de onderwijsbaarheid van het wetenschappelijk denken. Uitgaande van Vygotsky ziet Van Oers leren als een uitbreiding van het beschikbare handelingsrepertoire en de handelingsintenties. Deze uitbreiding wordt bereikt door leerlingen samen met anderen te laten deelnemen aan 'cultureel-maatschappelijke activiteiten'. Toegepast op het ontwikkelen van natuurwetenschappelijk denken betekent dit dat leerlingen worden betrokken in een activiteit die een 'imitatie' is van de activiteit van natuurwetenschappers, in die zin dat de leerling betrokken wordt in een leeractiviteit die het doen en denken weerspiegelt van de probleemaanpak van natuurwetenschappers. Ervan uitgaande dat wetenschappelijk denken altijd verbonden is met het oplossen van praktische of theoretische problemen, zouden de 'kardinale momenten' die in oplossingsprocessen van wetenschappers voorkomen ook deel moeten uitmaken van deze leeractiviteit. Deze momenten worden aangeduid als probleemherkenning, probleeminterpretatie en actualisering van relevant geachte voorkennis, modificatie van de eigen theorie, en discours. Met name aan dit laatste wordt in de zin van 'negotiating of meaning' grote betekenis toegekend.

De docent heeft in dit proces een gidsrol: hij vervult een aantal ondersteunende functies gericht op het inleiden van de lerenden in de denk- en werkcultuur van volwassenen, waarbij het doel is dat lerenden in toenemende mate zelfstandig (samen)werken.

Met betrekking tot het gebruik van modellen in de natuurwetenschappen stelt Van Oers dat deze vaak als hulpmiddelen dienen om nieuwe gegevens te interpreteren en ook om nieuwe gegevens of inzichten te genereren. Modellen zijn daarom bij uitstek geschikt voor het uitvoeren van gedachtenexperimenten, die zo kenmerkend zijn voor wetenschap. Van Oers onderscheidt canonieke en persoonlijke modellen: modellen en voorstellingen van de werkelijkheid die door de wetenschappelijke gemeenschap zijn aanvaard als bruikbare samenvatting van wetenschappelijke kennis, of privé-voorstellingen die meer of minder overeenkomen met de canonieke modellen, en altijd persoonsgebonden kenmerken vertonen. De discussie over persoonlijke en canonieke modellen wordt een fundamentele voorwaarde voor wetenschappelijke vooruitgang genoemd. Van Oers stelt dat modellen op deze wijze in school gebruikt zouden kunnen worden en zo een belangrijke functie kunnen vervullen in het proces van kennisverwerving.

Ernest [33,34] bepleit een sociaal-constructivistische benadering van wiskunde en wiskunde-onderwijs: wiskundige kennis wordt gezien als ingebed in sociale en culturele contexten. Voor het ontwikkelen van deze kennis zijn deze contexten onmisbaar, waarbij probleemstellende en -oplossende activiteiten leiden tot kennisconstructie, waarbij een sterke nadruk ligt op 'social negotiation of meaning' en wordt geoefend in het beoefenen van 'expert practice'.

Tobin en Tippins [22] typeren -gebaseerd op gegevens van Wheatley [35] -constructivistisch onderwijs aan de hand van een typering van het docentgedrag. Zijn handelen is er op gericht 'to build a classroom that maximizes student learning'. De docent heeft daarin een 'important mediating role, ascertaining what students know and structuring tasks such that they can build knowledge structures that are commensurate with knowledge of the discipline'. Deze taken zijn van veel belang aangezien 'the teacher is not transferring knowledge to anyone, but by assigning a particular activity is allowing students to construct certain experiences rather than others'.

Een ander aspect van de rol van de docent wordt door genoemde auteurs omschreven als 'to monitor student understandings and guide discussions so that all students have opportunities to put language to their understandings and to engage in activities such as clarifying, elaborating, justifying and evaluating alternative points of view'. De auteurs wijzen op de fundamentele verandering die constructivistisch onderwijs met zich meebrengt voor de rol van de docent: 'the emphasis is on the teacher as a learner, a person who will experience teaching and learning situations, and give personal meaning to those experiences through reflection, at which time extant knowledge is connected to new understandings as they are built from experience and social interaction with peers and teacher educators'.

2.3.2.4 Stromingen binnen het constructivisme: verschillen en overeenkomsten, samenvatting uitgangspunten voor onderwijs

Verschillen tussen de hiervoor besproken constructivistische stromingen worden voornamelijk gevonden op theoretisch niveau, en betreffen met name de epistemologische grondslag. Zo plaatst O'Loughlin [23] in verband met het onderwijs in de natuurwetenschappen 'Piagetian constructivism' en een sociaal-culturele benadering van leren en onderwijzen diametraal tegenover elkaar. De auteur stelt dat in de eerste opvatting ('Piagetian constructivism') historische, sociale, culturele en omgevingsfactoren die het leerproces beïnvloeden buiten beschouwing blijven, alsmede de specifieke levensloopfactoren die de kennisontwikkelingsmogelijkheden van het individuele kind mede bepalen. O'Loughlin heeft beargumenteerde bezwaren tegen benaderingen van leren en onderwijzen, waarin de individuele cognitieve ontwikkeling het primaat heeft en waarbij -in het verlengde hiervan- sprake is van een geringere aandacht voor de historische, culturele en sociale werkelijkheid die mede bepalend is voor de kennisontwikkeling. Terwijl O'Loughlin bepaalde stromingen als tegengesteld en min of meer onverenigbaar ziet, wijzen andere auteurs -met name bij een uitwerking in de richting van de onderwijspraktijk- op het belang en de mogelijkheden van een synthese tussen de diverse constructivistische visies.

Fosnot [24] signaleert dat O'Loughlin niet aangeeft hoe zijn theoretische pleidooi voor een socio-culturele benadering in (didactische) praktijk kan worden gebracht: 'It is difficult to understand ... what he means by a sociocultural approach pedagogy because, as with most critical theorists, he provides no examples of real classroom interactions'. Fosnot bepleit een dialoog tussen 'cognitive constructivists' en 'social constructivists' om te zoeken naar een synthese waarbij 'we explore the connection between structure, content, and culture'.

Een belangrijk *overeenkomstig kenmerk* van sociaal-constructivistische en sociaal-culturele visies op onderwijs is dat leren en ontwikkeling worden gezien als processen en producten van sociale interactie, waarbij binnen de sociale context kennisontwikkeling optreedt door confrontatie van reeds aanwezige individuele kennis en inzichten met nieuwe informatie en ervaringen van anderen. De lerende heeft hierbij een actieve, 'handelende' hoofdrol, de docent vervult een gidsrol om de lerende in te leiden in en te laten deelnemen aan de 'expert practice' (het doen en denken) van de natuurwetenschapper. De uitwerkingen van beide visies in de richting van de onderwijspraktijk blijken in belangrijke mate parallel te lopen en/of complementair te zijn.

Samenvattend constateer ik dat *verschillen* tussen cognitief constructivisme, sociaal constructivisme en een sociaal-culturele visie op leren en onderwijzen voornamelijk naar voren komen op het niveau van grondslagen: er is sprake van verschillende *kennistheoretische* uitgangspunten en visies. Bij de vertaling van deze theoretisch-constructivistische visies in aanwijzingen voor de concrete didactische praktijk blijken

de verschillende stromingen *overeenkomstige aanwijzingen* op te leveren voor het organiseren en inrichten van onderwijs en de onderwijsleeromgeving. Deze aanwijzingen breng ik samen in de volgende uitgangspunten voor een *constructivistische didactische praktijk*.

Het *leren* is gesitueerd in een *leeromgeving* die fungeert als de sociale context waarin de leerlingen -in samenwerking met mede-leerlingen en docent- als (quasi) natuurwetenschappers c.q. vakbiologen werkzaam zijn.

Het *leerproces* wordt gezien als een *constructieve activiteit* waarbij en waardoor kennis tot ontwikkeling wordt gebracht die in toenemende mate overeenkomt met die van vakbiologen. Dit proces wordt getypeerd als het ontwikkelen van persoonlijke kennis in de richting van gedeelde kennis.

De *voorkennis van de individuele leerling* is een cruciale factor in het leerproces waarvan op verschillende momenten en wijzen gebruik wordt gemaakt. Het gaat daarbij om het expliciteren van de voorkennis van en door de leerling, om het vergelijken van deze voorkennis met die van medeleerlingen en met gegevens uit de vakwetenschap en om het communiceren over die voorkennis met anderen en het reflecteren daarop.

De *leerinhoud* wordt gevormd door de kennis en vaardigheden waaruit de expert knowledge en expert practice van vakbiologen bestaat. Daarbij wordt onder meer gebruik gemaakt van denk- en werkwijzen, hulpmiddelen en modellen waarmee ook natuurwetenschappers werken.

De *docent* vervult een gidsrol, o.m. door leerlingen uit te nodigen tot deelname aan 'expert practice' (het doen en denken) van biologen, door voorwaarden te scheppen voor de genoemde leeractiviteiten en door de leerlingen te stimuleren en te ondersteunen bij het expliciteren van hun ideeën, (bege)leiden van discussies en zoeken naar consensus.

2.3.2.5 Enkele uitgangspunten en sleutelbegrippen nader verkend

Voorkennis en contexten

Uit het voorgaande komt naar voren dat de voorkennis van de lerende [D] als een cruciale factor wordt beschouwd in het leerproces. De vraag is dus aan de orde hoe in een constructivistische onderwijspraktijk de voorkennis van de (alle ?) individuele lerenden zodanig kan worden benaderd dat deze individuele kennis (mede) de basis kan vormen voor kennisontwikkeling. Reeds door Ausubel [17] werd het belang van de individuele voorkennis voor het leerproces onderkend, zoals blijkt uit het volgende citaat 'If I had to reduce all of educational psychology to just one principle, I would say this: The most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly'.

Onderzoek naar voorkennis als factor in onderwijsleerprocessen heeft sindsdien een grote vlucht genomen. Bij dat onderzoek ging het steeds om momentopnames van kennis voorafgaand aan en/of na afloop van onderwijsinterventies. In veel gevallen

waren deze experimenteel van karakter, dat wil zeggen dat het vaak om kleine populaties ging die in een laboratoriumsetting werden geplaatst.

In de literatuur wordt zelden gerapporteerd over mogelijkheden om voorkennis verder tot ontwikkeling te brengen in doorsnee klasse-situaties. Muthukrishna *et al.* [36] concluderen op grond van een literatuurverkenning dat het gericht rekening houden met bij individuele leerlingen aanwezige voorkennis -door hen aangeduid met de verzamelterm 'alternative frameworks' (AFs)- slechts haalbaar en succesvol bleek in proefsituaties met groepen van zeer kleine omvang. Problemen die spelen bij het werken met voorkennis in 'regular classrooms' betreffen 'the management of individualized explorations of student's AFs', en 'require more instructional time for teachers'. Hoewel de hiervoor geciteerde uitspraak van Ausubel nog weinig van zijn actualiteit verloren heeft, is nog allerm minst duidelijk hoe de uitspraak 'teach them accordingly' (d.w.z. in overeenstemming met de voorkennis) in de praktijk gerealiseerd moet worden.

De onderzoeksliteratuur levert weinig aanknopingspunten op voor het concretiseren van dit punt in de onderwijspraktijk. Dit maakt verder empirisch onderzoek wenselijk, gericht op mogelijkheden om te werken met voorkennis in doorsnee-klasesituaties.

Ook vanuit een andere invalshoek wordt in de literatuur over het onderwijs in de natuurwetenschappen benadrukt dat aansluiting moet worden gezocht bij de voorkennis van leerlingen. Solomon [37] wijst in dit verband op het verschijnsel van compartimentalisatie. Hierbij is sprake van een discontinuïteit tussen 'the symbolic world of the school and the personal world of the child'. Om zo'n discontinuïteit te voorkomen, worden in haar voorstellen verbindingen gelegd met de leefwereldervaringen van leerlingen door gebruik te maken van 'contexten': praktijksituaties waarvan de leerling uit eigen ervaring kennis heeft.

Over 'contexten' merkt Driver [38] op: 'Knowledge is contextually embedded. The contexts provided for learning may be important in maintaining attention, facilitating later applicability of the conceptions and hence breaking down the possible divide between school science and everyday knowledge'. Uit de studies van Van Genderen [39] en Eijkelhof & Van der Veen [40] komt naar voren dat contexten een belangrijke functie kunnen vervullen bij het overbruggen van deze kloof. Het basisidee bij het gebruik van contexten is dat met behulp hiervan een koppeling kan ontstaan tussen denkbeelden van leerlingen over de concrete werkelijkheid en de wijze waarop in de vakwetenschap deze werkelijkheid benaderd en verklaard wordt. In de studies van Bibace & Walsh [41] en Carey [42] komt naar voren dat kinderen van jongsaftaan sterk betrokken zijn bij verschijnselen aangaande leven en het eigen lichaam en dat zij met name over dit laatste een veelheid van ideeën hebben.

Biologieonderwijs lijkt daarom bij uitstek geschikt om aan de hand van de 'persoonlijke context' een beroep te doen op ervaringskennis van de leerlingen over 'leven'.

Nader onderzocht moet dan worden welke ervaringen van leerlingen geschikt zijn om te worden gebruikt als (voor)kenniselementen in het kader van het onderwijsthema 'Regulatie en homeostase'.

Kennisontwikkeling: individuele en collectieve componenten:

conceptual change en conceptual consensus.

In literatuur over kennisontwikkeling en leerprocessen in de natuurwetenschappen neemt de conceptual change theory van Posner *et al.* [43] een belangrijke plaats in. Hierna wil ik nagaan welk belang deze theorie heeft voor het uitwerken van biologie-onderwijs, dat is gebaseerd op de hiervoor aangegeven uitgangspunten.

Onder 'conceptual change' verstaan genoemde auteurs 'the process by which people's central, organizing concepts change from one set of concepts to another set, incompatible with the first'. In deze theorie ligt het accent op de proceskant van de individuele kennisontwikkeling en gaat het om de factoren die deze ontwikkeling kunnen beïnvloeden. De theorie is gebaseerd op de epistemologische opvattingen van Kuhn [44] en Lakatos [45], die inhouden dat de groei van wetenschappelijke kennis zich manifesteert 'through cyclic periods of consensus and dissentation among practitioners'. Ook wordt aangesloten bij de opvattingen van Ausubel: 'Old conceptions and candidates for their replacement are understood and appraised by learners in terms of concepts they already possess', aldus Posner *et al* [43].

Hoewel Posner *et al.* zich beroepen op de ideeën van Kuhn en Lakatos, die betrekking hebben op de cyclus van ontwikkeling van kennis in de (wetenschappelijke) gemeenschap, wil ik signaleren dat de *conceptual change theory* betrekking heeft op kennisontwikkeling op het niveau van het individu, en niet -zoals bij Kuhn en Lakatos- op sociaal niveau. Het is de vraag in hoeverre deze 'vertaling' door Posner *et al* van de opvattingen van Kuhn en Lakatos -over *collectieve* kennisontwikkeling- in de richting van de kennisontwikkeling op het niveau van het *individu* ook empirisch wordt bevestigd.

Twee vormen van conceptual change worden onderscheiden: een bijstelling of aanpassing van bestaande concepten (assimilation), of een meer radicale wijziging of complete vervanging van concepten (accomodation). De vorm van conceptual change die door Posner *et al.* wordt aangeduid als 'accomodation' komt overeen met wat door Thagard [46] wordt aangeduid als een 'revolutionary conceptual change', waarbij sprake is van vervanging van een heel begrippensysteem door een ander.

In de optiek van Posner *et al.* gaat het bij 'accomodation' dus om ingrijpende en fundamentele wijzigingen van en in begrippensystemen. Ontoereikendheid van en onvrede met bestaande concepten worden genoemd als de belangrijkste factoren voor 'accomodation', en wel aangeduid als een 'cognitief conflict'.

Door Dreyfus *et al* [47] zijn experimenten uitgevoerd waarbij werd getracht om bij leerlingen cognitieve conflicten te induceren. Uit hun onderzoek blijkt dat het centrale probleem is 'to reach a state of meaningful conflict'. De auteurs concluderen dat de belangrijkste factor bij het ontstaan van een cognitief conflict de mate van eigen, concrete kennis en ervaring is, waarop leerlingen een beroep kunnen doen.

Strike & Posner [48] publiceren in 1992 een 'revisionist theory of conceptual change' waarin zij hun oorspronkelijke ideeën onder meer als volgt nuanceren: 'We had never viewed teaching for conceptual change as something for which effective teaching routines could be developed'.

Zij signaleren dat in de literatuur vrijwel geen voorbeelden worden gevonden van geslaagde interventies in school die tot accommodatie leiden. Hieruit leiden zij af dat de meer radicale vormen van begripsverandering zich onttrekken aan de invloed van 'schools' onderwijs.

In een beschouwing over begripsvorming maakt Chi [49] onderscheid tussen 'conceptual change that occurs within an ontological category' en 'conceptual change between ontological categories'. Deze laatste vorm wordt aangeduid als 'radical conceptual change'. Chi komt -op grond van een analyse van het karakter van beide vormen- tot de conclusie dat 'radical conceptual change' vrijwel onmogelijk is, en daarom ook niet bevorderd kan worden door specifieke (onderwijs-)strategieën. Het beïnvloeden van de andere vorm, 'conceptual change within an ontological category' wordt door haar wel mogelijk geacht. Met betrekking tot biologieonderwijs stelt deze auteur dat 'the acquisition of a majority of biological concepts does not require conceptual change that crosses ontological categories', en dat 'misconceptions about biological concepts can easily be removed by instruction'.

De conclusies van Chi vergelijkend met de herziene theorie van Posner *et al.* kan samenvattend worden gesteld dat 'accommodation' ook door Chi als een niet haalbare vorm van begripsverandering wordt beschouwd, en dat het bij de kennisontwikkeling die in het vak biologie wordt beoogd in veel gevallen niet gaat om deze vorm van 'radical conceptual change'.

Op grond van het bovenstaande meen ik dat er weinig wetenschappelijke gronden zijn om in het biologieonderwijs specifieke activiteiten en strategieën te ontwikkelen met het oog op individuele conceptual change, in de zin van Posner et al.

Terugkerend tot de eerder genoemde epistemologische opvattingen van Kuhn [44] en Lakatos [45] wil ik nagaan of met een andersoortige uitwerking dan zoals gegeven door Posner *et al.* [43], kan worden aangesloten op de gekozen constructivistische uitwerking van de uitgangspunten voor de onderwijspraktijk.

De theorie van Posner *et al.* is gebaseerd op slechts een aspect uit de opvattingen van Kuhn en Lakatos, het 'dissertation'-aspect, waarbij dit aspect mijns inziens ook nog in een kader wordt geplaatst dat epistemologisch principieel verschilt van dat van Kuhn en Lakatos. Het andere element in de cyclus van wetenschappelijke kennisontwikkeling, het 'consensus'-aspect, wordt door Posner *et al.* genegeerd.

Dit element in de cyclus is mijns inziens minstens zo kenmerkend voor kennisontwikkeling in het onderwijs, gezien het sociale karakter van het leren in school. In sociaal-culturele benaderingen van kennis en kennisontwikkeling wordt benadrukt dat in de sociale school-context de individuele kennis een plaats en een betekenis krijgt door 'negotiation of meaning': daardoor kan pas duidelijk worden dat feiten en

verschijnselen op dezelfde wijze worden verstaan, cq. communiceerbaar zijn binnen een groep individuen, en dat er sprake is van (een vorm van) consensus.

Een vertaling van dit epistemologische gezichtspunt van Kuhn en Lakatos in de richting van onderwijs zou mijns inziens betekenen dat juist meer accent wordt gelegd op het bereiken van 'conceptual consensus' tussen leerlingen.

Uitgewerkt in de richting van de onderwijspraktijk betekent dit dat -als afspiegeling van de werkwijze van vakbiologen- in het biologieonderwijs door onderhandeling en discussie gezocht wordt naar vormen van conceptual consensus, die de gedeelde kennis van vakbiologen benaderen. De kennis waarover onder vakbiologen consensus bestaat, wordt in het vervolg van deze studie aangeduid als *expert knowledge*.

In het verlengde hiervan kunnen ook de suggesties inzake modelgebruik van Van Oers [32] een plaats krijgen. De persoonlijke modellen van leerlingen kunnen het uitgangspunt vormen voor onderhandeling en discussie waarbij leerlingen zoeken naar een model dat in hun ogen het meest plausibel en werkbaar is als voorstelling van de werkelijkheid. Met deze werkwijze wordt, uitgaande van persoonlijke modellen, geoefend in het ontwikkelen van wetenschappelijke modellen die behoren tot de gedeelde kennis van vakbiologen.

2.3.3 Pedagogische uitgangspunten

Uitgangspunten met een pedagogische dimensie hebben betrekking op de bijdrage die het onderwijs kan leveren aan de persoonlijke ontplooiing en ontwikkeling van de lerende. Bij het formuleren van pedagogische uitgangspunten voor het biologieonderwijs ga ik uit van bronnen waarin de opvattingen naar voren komen die in belangrijke mate het gezicht (zullen) bepalen van het biologieonderwijs in de negentiger jaren: in concreto betekent dit een oriëntatie op de doelstellingen van de Basisvorming [E].

In de gedachtenontwikkeling over de functie van onderwijs in verband met de persoonlijke ontwikkeling, staat in de *Basisvorming* centraal het realiseren van een aantal *emancipatorische doelen*, aldus de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR) [50]. Daarmee wordt beoogd om een basis te leggen voor de verdere ontwikkeling van de persoonlijkheid als bijdrage aan het zinvol functioneren van de mens als lid van de samenleving. Dit houdt o.m. in dat leerlingen verantwoordelijkheid leren nemen voor zichzelf en voor anderen, zich rekenschap leren geven van consequenties van hun gedrag en leren weloverwogen om te gaan met hun omgeving. In het verlengde van de uitspraken van de WRR over de doelen van de natuurwetenschappelijke vakken hebben Treffers en Waarlo [51] enkele doelen van pedagogische aard omschreven die specifiek betrekking hebben op het biologieonderwijs. Dit onderwijs moet ertoe bijdragen dat leerlingen verantwoordelijkheid dragen voor hun persoonlijk welzijn en dat van mensen, dieren en planten in hun omgeving, dat ze verstandig gebruik kunnen maken van de verworvenheden van de natuurwetenschap en dat ze in staat zijn om de biologische aspecten van een aantal maatschappelijke problemen te herkennen.

In het verlengde van de hiervoor -in § 2.3.2.4- geschetste uitgangspunten voor het realiseren van een constructivistische onderwijspraktijk werk ik de genoemde pedagogische uitgangspunten als volgt uit.

In de bovenbouw van het biologieonderwijs moeten inhouden en werkwijzen aan de orde komen die ertoe bijdragen dat leerlingen leren om levensverschijnselen en -processen te observeren, te beschrijven en te voorspellen. Deze kennis en vaardigheden zijn noodzakelijke hulpmiddelen om verantwoorde (i.c. mede op natuurwetenschappelijke overwegingen gebaseerde) keuzes te maken aangaande eigen welzijn en gezondheid en dat van anderen, en aangaande het gebruik en beheer van de natuurlijke omgeving, inclusief dieren en planten. Het aldus gebruiken van kennis en vaardigheden wordt in engelstalige literatuur aangeduid als 'scientific literacy', en is een belangrijk doel van natuurwetenschappelijk onderwijs, zo stellen Demastes en Wandersee [52].

Voor een oriëntatie op eigen welzijn en gezondheid komen inhouden in aanmerking uit de humane biologie (menskunde) die voor de leerling van persoonlijk belang (kunnen) zijn en waarmee op eigen leefwereldervaringen kan worden aangesloten. Aan het ontwikkelen van verantwoordelijkheid en respect voor planten en dieren en de natuurlijke omgeving kan het biologieonderwijs bijdragen door leerlingen inzicht te laten verwerven in de veelvormigheid, de eigenschappen en de wetmatigheden die levensvormen en levensprocessen kenmerken. Dit inzicht kan als basis dienen voor keuzes met betrekking tot een verantwoord gebruik en beheer van de natuurlijke omgeving. Ook hier is het doel dat leerlingen leren om verantwoorde analyses en afwegingen te maken die onder meer zijn gebaseerd op natuurwetenschappelijke overwegingen. Met dit laatste doel wordt tevens beoogd om de leerling in te leiden en voor te bereiden op denk- en werkwijzen waarop in het vervolgonderwijs cq. het Hoger Onderwijs een beroep zal worden gedaan.

Een aantal van de uitgangspunten die in de voorgaande paragraaf werden omschreven zal tenslotte kunnen bijdragen aan de algemene doelen die door de W.R.R. werden geformuleerd [50]. De uitwerking die werd gegeven aan de leeromgeving als sociale context impliceert dat werkwijzen worden gekozen waarin leerlingen verantwoordelijkheden dragen voor hun eigen functioneren alsook medeverantwoordelijk zijn voor het (samen)werken met anderen.

2.3.4 Uitgangspunten van innovatieve aard

In deze paragraaf wil ik ingaan op enkele *overwegingen van innovatieve aard* die van belang kunnen zijn voor een succesvolle verspreiding en gebruik van een vernieuwend produkt en een vernieuwde inhoud in het reguliere onderwijs.

Fullan [53] heeft vastgesteld dat het moeizame verloop van curriculumvernieuwingen vaak veroorzaakt wordt door het feit dat van docenten wordt verlangd dat zij zich nieuwe rollen eigen maken en oude routines afleren. Er is sprake van een multidimensionaal proces, aangezien het gaat om visieverandering bij docenten, het vertonen van ander onderwijsgedrag, en het gebruik van ander (curriculum)materiaal.

Ik beperk mij hier tot dit laatste punt aangezien met deze studie wordt beoogd om de basis te leggen voor onderwijsmaterialen waarin de vernieuwde inhoud en vorm van dit onderdeel van het curriculum zichtbaar is.

Om de vernieuwing te concretiseren in de vorm van *bruikbare* producten is het van veel belang dat voor het uitwerken van ideeën en uitgangspunten wordt samengewerkt met docenten. Deze worden door Connelly & Ben-Peretz [54] aangeduid als 'full partners in development as users-developers'. Hun deskundigheid is onmisbaar voor het ontwikkelen van onderwijsmaterialen die geschikt zijn voor direct gebruik in de klas door docent en leerlingen.

Deze samenwerking is er -in termen van Kuiper [55] en Van den Akker [56]- op gericht om te komen tot concrete (geschreven) curriculumdocumenten op micro-niveau. De samenwerking van biologen-didactici en docenten uit het Voortgezet Onderwijs kan ertoe leiden dat een maximale synergie ontstaat tussen de uitgangspunten en bedoelingen van de ontwerpers ('bedenkers van het imaginaire curriculum') en de gebruikers ('degenen die het curriculum zullen interpreteren'). Deze deelname van docenten aan het ontwikkelwerk maakt een directe terugkoppeling naar de schoolpraktijk mogelijk, zowel bij de ontwikkeling als bij later gebruik van de producten. Een ontwikkelstrategie waarbij practici op de werkvloer meewerken aan de inhoudelijke vernieuwing, sluit tevens aan op de Nederlandse school(politieke)-situatie, waar de overheid slechts de hoofdlijnen aangeeft van de vernieuwingsinhoud, en de verantwoordelijkheid voor uitwerking in de richting van de concrete onderwijssituatie in principe is neergelegd op schoolniveau [F].

2.4 De maatschappij als invalshoek: het examenprogramma biologie als referentiekader

Bij deze invalshoek gaat het om de uitgangspunten voor onderwijs die samenhangen met de functie die onderwijs in en ten behoeve van de samenleving moet vervullen. Een aantal van deze uitgangspunten komt voort uit de opdracht die vanuit de samenleving aan het onderwijs is gegeven, en is zichtbaar in richtlijnen van overheidswege. Het belangrijkste document voor het door mij uit te werken biologieonderwijs wordt gevormd door de vernieuwde Regeling examenprogramma biologie VWO [57], waarin de met ingang van het cursusjaar 1993-1994 geldende exameneisen zijn opgenomen.

Dit document kan worden gezien als de neerslag van de maatschappelijke consensus met betrekking tot de globale doelen en functies van het biologieonderwijs in het VWO, en vormt een belangrijk referentiekader voor het biologieonderwijs. Uitgangspunten die een afgeleide zijn van meer algemene opvattingen over de maatschappelijke functie van het (biologie-)onderwijs werden reeds besproken in § 2.3.3. Om deze reden beperk ik mij hier tot een bespreking van de Regeling examenprogramma biologie VWO, waarbij ik wil nagaan welke specifieke uitgangspunten en aanwijzingen voor het te vernieuwen onderwijs hieruit kunnen worden afgeleid.

Het examenprogramma VWO: algemene doelstellingen en uitgangspunten

Het programmadocument geeft een beschrijving van de algemene doelen van het onderwijs en van de eindtermen. Hierin wordt gespecificeerd aan welke eisen de leerlingen moeten voldoen ten aanzien van vak-kennis en van vaardigheden. Voorts worden de contextgebieden beschreven waarin deze kennis getoetst zal worden.

In het programma worden drie categorieën van *algemene doelstellingen* onderscheiden, te weten gericht op het vak, gericht op persoonlijke ontwikkeling en maatschappelijke vorming en gericht op vervolgonderwijs en beroepsuitoefening. Met deze formulering wordt aansluiting gezocht bij de kerndoelen voor de basisvorming; het gaat om algemene doelstellingen die op alle niveaus van het voortgezet onderwijs van toepassing zijn.

De *doelstellingen gericht op het vak* kunnen als volgt worden samengevat. Van de leerling wordt kennis van en inzicht in biologische verbanden gevraagd. Hierbij worden genoemd: de structuur-functie relatie bij organismen, en de onderlinge samenhangen in de biosfeer en de menselijke invloed daarop. Voorts moeten leerlingen inzien hoe in de biologie kennis tot stand komt en hoe van deze kennis gebruik wordt gemaakt. Bij de *doelstellingen gericht op persoonlijke ontwikkeling en maatschappelijke vorming* gaat het om zaken als respect en verantwoordelijkheidsbesef voor het leven, om het gebruik maken van biologische kennis in het dagelijks leven en in maatschappelijke situaties, en om sociale en communicatieve vaardigheden. Met de *doelstellingen gericht op vervolgonderwijs en beroepsuitoefening* wordt beoogd leerlingen in staat te stellen een bewuste keuze te maken ten aanzien van vervolgonderwijs en een adequate basis te leggen voor een vervolgopleiding of beroepsuitoefening. Met bovenstaande indeling en formulering wordt aangesloten op de algemene doelstellingen die voor de Basisvorming zijn geformuleerd, en die in § 2.3.3 reeds aan de orde kwamen.

De *leerstof* is ingedeeld in de paragrafen *structuren, levenscyclus, stofwisseling, stabiliteit en verandering*; benamingen die volgens het programmadocument overeenkomen met 'de belangrijkste levenskenmerken'. Binnen de paragrafen zijn deze 'kenmerken' op verschillende organisatieniveaus uitgewerkt.

Voor iedere leerstofparagraaf is de zgn. *specifieke kennis* beschreven. Daarnaast zijn *vaardigheden* omschreven die door leerlingen moeten worden beheerst. Deze betreffen 'het gebruiken van kennis en inzicht in biologische verbanden, het doen van onderzoek, het verzamelen en verwerken van biologische informatie, en het gebruiken van biologische kennis bij besluitvorming en meningsvorming'.

Ten aanzien van *contextgebieden* wordt opgemerkt dat van de leerlingen verwacht wordt dat zij 'biologische kennis kunnen toepassen in de contextgebieden', en dat 'in het centraal examen problemen uit een contextgebied kunnen worden aangeboden waarin biologische kennis moet worden toegepast'. Contextgebieden worden omschreven als 'gebieden uit het persoonlijk en maatschappelijk leven waarin biologische kennis een belangrijke rol speelt'. Als contextgebieden zijn in het examenprogramma aangewezen: *gezondheid, natuur en milieu, landbouw en veeteelt, en biotechnologie*.

Het examenprogramma VWO: relatie tot de thematiek van regulatie en homeostase

Na voorgaande schets van de hoofdlijnen van het examenprogramma ga ik in op de omschrijving van de specifieke kennis die betrekking heeft op de thematiek van regulatie en homeostase. Deze is te vinden in de paragraaf Stabiliteit en verandering, en is daarin als volgt getypeerd: 'De afstemming van processen binnen ecosystemen is niet afhankelijk van een in het ecosysteem gegeven norm, maar van veranderingen in abiotische factoren en veranderingen van erfelijke informatie. Leven van organismen wordt gekenmerkt door een voortdurende afstemming van verschillende processen op elkaar en op de omgeving. De manier waarop wordt afgestemd en de mate waarin afstemming mogelijk is, ligt vast in het organisme. Het organisme kan daartoe prikkels uit de omgeving opvangen, deze verwerken en op de omgeving reageren'.

De paragraaf Stabiliteit is onderverdeeld in de subparagrafen Ecosysteem, Gedrag, De mens: regeling, en De mens: bescherming. Dit onderdeel van het programmado-cument heeft de vorm van een termenlijst: er is sprake van een opsomming van elementen uit het biologische kennisbestand, een verantwoording voor de keuze en inhoud van de subparagrafen wordt niet gegeven.

Samenvattend stel ik vast dat het examenprogramma slechts weinig aanwijzingen oplevert waarop de vakinhoud van onderwijs over het thema Regulatie en homeostase kan worden gebaseerd. De omschrijving van de *leerstofinhoud* in de paragraaf Stabiliteit en verandering is onvoldoende om een uitwerking aan het thema te geven. De geformuleerde *vaardigheidsdoelen* bevatten aanwijzingen die van invloed zullen zijn op de vorm van dit onderwijs: er dienen werkwijzen te worden gekozen die bijdragen aan het verwerven van de verlangde vaardigheden.

Opgemerkt kan nog worden dat het gebruik van *contexten*, zoals die in het examenprogramma genoemd, past binnen de constructivistische benadering van onderwijs, waarvoor is gekozen (§ 2.3.2.4).

Dit maakt het noodzakelijk om bij het kiezen en uitwerken van de gedetailleerde onderwijs-inhoud en werkwijzen ook in belangrijke mate gebruik te maken van gegevens en aanwijzingen die voortkomen uit een verdere oriëntatie op vakwetenschappelijke en onderwijswetenschappelijke bronnen en empirisch onderzoek.

2.5 Beslispunten: agenda voor vervolgonderzoek

In de voorgaande paragrafen zijn de uitgangspunten omschreven voor het vernieuwen van het biologieonderwijs en is aan enkele van deze punten al een nadere uitwerking gegeven. Tevens werd vastgesteld dat op bepaalde punten nader onderzoek noodzakelijk is op grond waarvan over de concretisering van het onderwijs besloten kan worden. Deze beslispunten worden hierna samengevat en vormen de aanzet voor de nadere verkenningen waarover in de volgende hoofdstukken wordt gerapporteerd.

De keuze van de *organicistische visie* als uitgangspunt voor het vernieuwen van het biologieonderwijs -in § 2.2- brengt met zich mee dat besloten moet worden op welke wijze de thematiek van regulatie en homeostase aan de orde gesteld moet worden. In verband hiermee is onderzoek noodzakelijk naar de plaats en inhoud van de concepten regulatie en homeostase in de vakwetenschap biologie, met name in het licht van genoemde visie. Dit onderzoek moet gegevens opleveren die als bouwstenen kunnen dienen voor het ontwikkelen en invullen van het thema regulatie en homeostase. Een verkenning van de begripsinhoud van genoemde concepten is mede noodzakelijk omdat -zoals in § 2.4 naar voren kwam- het recente examenprogramma biologie weinig aanknopingspunten biedt om beslissingen te nemen voor de uitwerking hiervan in de richting van de onderwijspraktijk (p.20). Deze verkenningen worden beschreven in § 3.2 en § 3.3.

Bij de uitwerking van de uitgangspunten voor ~~een~~ *constructivistische didactische praktijk* werd de cruciale positie naar voren gebracht van de *voorkennis en denkbelden van leerlingen* in onderwijs-leerprocessen (p.12). Om te kunnen beslissen over het inrichten van zo'n praktijk zijn gegevens over deze voorkennis nodig, waarbij het zowel om de inhoud van deze voorkennis gaat als om de contexten waarin deze kennis is ingebed. Dit laatste hangt samen met de uitspraak dat in het biologieonderwijs contexten bij uitstek geschikt zijn om een beroep te doen op ervaringskennis (p.13). Met het oog op het verzamelen van genoemde gegevens is eerst een verkenning van onderzoeksliteratuur wenselijk, waarbij wordt gezocht naar werkwijzen om de voorkennis van leerlingen te inventariseren, d.w.z. zichtbaar en onderzoekbaar te maken. Vervolgens is onderzoek noodzakelijk naar (de inhoud van) deze individuele voorkennis en naar mogelijkheden om deze voorkennis verder tot ontwikkeling te brengen (p.13). Dit onderzoek zal worden beschreven in § 4.2 en § 4.3.

Een ander beslispunt heeft betrekking op een te realiseren *sociale leeractiviteit* waarbij leerlingen via discussie en onderhandeling tot een gezamenlijke probleemaanpak en -oplossing komen (pp.9,10,16). Onderzoek is noodzakelijk naar mogelijkheden om zo'n activiteit op te zetten en uit te voeren. Met dit onderzoek -dat in § 4.4 wordt gerapporteerd- wordt nagegaan of een vorm van *expert practice*, zoals omschreven in bovengenoemde uitgangspunten (p.12) als werkwijze haalbaar en bruikbaar is in het (biologie-)onderwijs.

Daarbij kan tevens het gebruik van modellen worden onderzocht als hulpmiddel, o.a. voor het ontwikkelen van persoonlijke kennis in de richting van gedeelde kennis (pp.10,12), of -anders gezegd- als een hulpmiddel bij het bereiken van *conceptual consensus* over begrippen (p.16).

Samengevat: uitgaande van een aantal beslispunten over de te realiseren didactische praktijk is in het voorgaande een agenda voor onderzoek gegeven waarbij door middel van (voor)studies gegevens worden verzameld om deze praktijk nader inhoud en vorm te kunnen geven.

Noten

- [A] Voor deze opvatting bestaan verschillende aanduidingen; naast *organicismisch* wordt ook wel de term *organismisch* aangetroffen.
- [B] Onder *algemene theorieën* versta ik in dit verband uitspraken die generaliseerbaar zijn, d.w.z. niet gebonden zijn aan het leren van een specifieke disciplinaire vakinhoud.
- [C] Onder een *onderwijsarrangement* (of instructional design) verstaat De Klerk [14] het samenstel van factoren dat de specifieke condities bepaalt, waaronder het leren in realistische onderwijs-situaties plaats vindt.
Voorbeelden van deze factoren zijn de wijze waarop de leerstof gepresenteerd en gestructureerd wordt, de hulp die de leerling krijgt, de feed-back etc.

Over *behavioristische leertheorieën* merkt De Klerk voorts het volgende op:

'De behavioristische leertheorieën leiden tot onderwijsarrangementen waarbinnen getracht wordt het gedrag van leerlingen te modificeren en wel zo dat zij bepaalde concrete gedragsdoelstellingen zo goed mogelijk bereiken. Een belangrijk aspect hiervan is het meten van resultaten en het sturen van het leerproces op basis van kennis van resultaten'.

- [D] In de literatuur worden voorkennis en denkbepelden van leerlingen, die (nog) niet sporen met vakwetenschappelijke kennis en inzichten, vanuit een objectivistisch perspectief aangeduid als misconcepten, vanuit een constructivistisch perspectief als preconcepten, alternative frameworks, naive theories, e.d. In deze typeringen komt het verschil in epistemologische zienswijze tot uiting: de objectivistische visie impliceert dat de werkelijkheid als een objectief gegeven fungeert, en dat andere interpretaties van 'feiten' (!) en verschijnselen dus per definitie onjuist zijn. In tegenstelling hiermee zijn in een constructivistische visie de verschillende interpretaties van de werkelijkheid producten van kennisvorming die in principe gelijkwaardig zijn en waarover discussie mogelijk is.
- [E] Ten tijde van de oriëntatie op de pedagogische uitgangspunten was nog geen uitwerking gegeven aan de vernieuwing van het onderwijs(traject) dat volgt op de Basisvorming: de Tweede Fase Voortgezet Onderwijs. Inmiddels is duidelijk geworden dat de vernieuwing van de *Tweede Fase Voortgezet Onderwijs* [58] er o.m. op gericht is om de inhoud en vorm hiervan te laten aansluiten op de Basisvorming, en verder om leerlingen voor te bereiden op (het studeren in) het hoger onderwijs, en om mensen op te leiden die in een snel veranderende samenleving adequaat en flexibel kunnen functioneren. Beide laatste doelen kunnen worden gezien als een zekere specificatie van wat in de doelen van de Basisvorming werd genoemd 'zinnig functioneren als lid van de samenleving'.
- [F] Deze verdeling van verantwoordelijkheden is een afgeleide van het principe van de vrijheid van onderwijs, dat is vastgelegd in de Grondwet van het Koninkrijk der Nederlanden.

Referenties

- [1] Jensen, J.P. (1975). *Menspsychologieën*. Boom, Meppel.
- [2] Treffers, A. (1990). *Wiskunde-onderwijstheorie of β -onderwijstheorie* ? In: P.L.Lijnse & W.de Vos, red., *Didactiek in perspectief*. Utrecht, CD β -press.
- [3] Hooymayers, H.P. & P.L.Lijnse (1981). *Vakdidactiek als onmisbare interdiscipline*, Paedagogische Studiën 58, 134-140.
- [4] Gerard, R.W. (1957). *Units and Concepts of Biology*. Science 12, 429-433.
- [5] Beckner, M. (1968). *The biological way of thought*, 2nd.ed. Univ.Calif.Press, Berkeley.
- [6] Ayala, F.J. (1972). *The autonomy of biology as a natural science*. In: Breck, A.D. & W.Yourgrau, *Biology, History and Natural philosophy*. Plenum Press, New York.
- [7] Mayr, E. (1982). *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution and Inheritance*. Belknap Press, Cambridge, MA.
- [8] Mercer, E.H. (1981). *The Foundations of Biological Theory*. John Wiley, New York.
- [9] Rosenberg, A. (1985). *The structure of Biological Science*. Cambridge Univ.Press, Cambridge.
- [10] Sattler, R. (1986). *Biophilosophy. Analytic and Holistic Perspectives*. Springer, Berlin.
- [11] Bertalanffy, L. von (1972). *General Systems Theory*, 3rd.ed. George Braziller, New York.
- [12] Strijbos, S. (1988). *Het technische wereldbeeld*. Buijten & Schipperheijn, Amsterdam.
- [13] Schaefer, G. (1989). *Systems thinking in biology education*. Paris, Unesco, Science and Technology Education Series.
- [14] Klerk, L.F.W.de (1983). *Onderwijspsychologie*. Van Loghum Slaterus, Deventer.
- [15] Jonassen, D.H. (1991). *Objectivism versus Constructivism: Do We Need a New Philosophical paradigm* ? Educational Technology, Research & Development 39 (3), 5-14.
- [16] Gagné, R.M. (1977). *The conditions of learning*, 2nd. ed. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- [17] Ausubel, D.P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart & Winston, New York.
- [18] Novak, J.D. (1977). *A Theory of education*. Cornell Univ.Press, Ithaca.
- [19] Novak, J.D. (1992). *A view on the Current Status of Ausubel's Assimilation Theory of Learning*. A.E.R.A.-paper.
- [20] Shymansky, J.A. & W.C.Kyle (1992). *Establishing a research agenda: Critical issues of science curriculum reform*. Journal of Research in Science Teaching 29(8), 749-778.

- [21] Tobin, K.G., J.B.Kahle & B.J.Fraser (1990). *Windows into science classrooms: problems associated with higher-level cognitive learning*. Falmer Press, Basingstoke, Hampshire.
- [22] Tobin, K. & D.Tippins (1993). *Constructivism as a Referent for Teaching and Learning*. In: Tobin, K. (ed.) *The practice of Constructivism in Science Education*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- [23] O'Loughlin, M. (1992). *Rethinking Science Education: Beyond Piagetian Constructivism Toward a Sociocultural Model of Teaching and Learning*. Journal of Research in Science Teaching 29(8), 791-820.
- [24] Fosnot, C.T. (1993). *Rethinking Science Education: A Defense of Piagetian Constructivism*. Journal of Research in Science Teaching 30(9), 1189-1201.
- [25] Smith, E.L. (1991). *A Conceptual Change Model of Learning Science*. In: Glynn, S.M., R.H.Yeany & B.K.Britton (eds.). *The psychology of Learning Science*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- [26] Driver, R. & B.Bell (1986). *Students' thinking and the learning of science: a constructivist view*. School Science Review 3, 443-455.
- [27] Fensham, P., R.Gunstone & R.White (1994). *The Content of Science: A Constructivist approach to its teaching and learning*. Falmer Press, London.
- [28] Needham, R. (1987). *Teaching strategies for developing understanding in science*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, Leeds.
- [29] Driver, R. & V.Oldham (1986). *A constructivist approach to curriculum development in science*. Studies in Science Education, 13, 105-122.
- [30] Nelissen, J.M.C. (1991). *De cognitieve ontwikkeling: constructivistisch en domeinspecifiek*. Tijdschrift voor Onderwijswetenschappen 21, 275-291.
- [31] Oers, B.van (1987). *Activiteit en begrip. Proeve van een handelingspsychologische didactiek*. VU-uitgeverij, Amsterdam.
- [32] Oers, B.van (1988). *Modellen en de ontwikkeling van het (natuur-)wetenschappelijk denken van leerlingen*. Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen 6(2), 115-143.
- [33] Ernest, P. (1992). *The Nature of Mathematics: Towards a Social Constructivist Account*. Science & Education 1, 89-100.
- [34] Ernest, P. (1993). *Constructivism, the Psychology of Learning, and the Nature of Mathematics: Some Critical Issues*. Science & Education 2, 87-93.
- [35] Wheatley, G. (1991). *Constructivist Perspectives on Science and Mathematics Learning*. Science Education 75(1), 9-21.
- [36] Muthukrishna, N.D, Carmine, B.Groissen, & S.Miller (1993). *Children's Alternative Frameworks: Should They Be Directly Addressed in Science Instruction ?* Journal of Research in Science Teaching 30(3), 233-248.

- [37] Solomon, J. (1983). *Learning about energy: how pupils think in two domains*. European Journal of Science Education 5(1), 49-59.
- [38] Driver, R. (1988). *Changing conceptions*. Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen 6(3), 161-198.
- [39] Genderen, D. van (1989). *Mechanica-onderwijs in beweging*. Dissertatie. WCC, Utrecht.
- [40] Eijkelhof, H.M.C. & K. van der Veen (1989). *Werken met contexten in het natuurkundeonderwijs*. NIB, Zeist
- [41] Bibace, R. & M.E. Walsh (1981). *Children's Conceptions of Health, Illness and Bodily Functions*. Jossey-Bass, San Francisco, CA.
- [42] Carey, S. (1985). *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- [43] Posner, G.J., K.A.Strike, P.W.Hewson & W.A.Gertzog (1982). *Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change*. Science Education, 66(2), 83-93.
- [44] Kuhn, T.S.(1970).*Structure of scientific revolutions*, 2nd ed. University of Chicago Press, Chicago
- [45] Lakatos, I.(1970). *Falsification and the methodology of scientific research programs*. In: I.Lakatos & A.Musgrave (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [46] Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- [47] Dreyfus, A., E.Jungwirth & R.Eliovitz (1990). *Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change - Some Implications, Difficulties, and Problems*. Science Education 74(5), 555-569.
- [48] Strike, K.A. & G.J.Posner (1992). *A revisionist theory of conceptual change*. In: R.Duschl & R.Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. SUNY Press, Albany, NY.
- [49] Chi, M.T.H. (1992). *Conceptual Change within and across Ontological Categories: Examples from Learning and Discovery of Science*. In: R.N.Giere (ed.) *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- [50] Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (1986). *Basisvorming in het Onderwijs*. W.R.R.-rapport no.27. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- [51] Treffers, A.J. & A.J.Waarlo (1989). *Basisvorming Biologie*. M.Nijhoff, Leiden
- [52] Demastes, S. & J.H.Wandersee (1992). *Biology literacy in a college biology classroom*. BioScience 42, 63-65.
- [53] Fullan, M.G. (1991). *The new meaning of educational change*. Casell Educational, London.
- [54] Connelly, F.M. & M.Ben-Peretz (1980). *Teachers' Roles in the Using and Doing of Research and Curriculum Development*. Journal of Curriculum Studies, 12(2), 95-107.

- [55] Kuiper, W.A.J.M. (1993). *Curriculumvernieuwing en lespraktijk*. Diss. Universiteit Twente.
- [56] Akker, J.J.H.van den (1988). *Ontwerp en implementatie van natuuronderwijs*. Swets en Zeitlinger, Lisse.
- [57] *Regeling examenprogramma biologie v.w.o.* (1991). Uitleg, O.& W.regelingen 14, Den Haag.
- [58] Stuurgroep Profiel tweede fase V.O. (1994). *Tweede fase, scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs*. S.D.U., Den Haag.

3 HET BEGRIP HOMEOSTASE

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden twee deelonderzoeken gerapporteerd die zijn verricht in het licht van de beslispunten die in § 2.5 zijn vermeld. Met de onderzoeken wordt beoogd om (vakinhoudelijke) gegevens te verzamelen die gebruikt kunnen worden voor het ontwerpen en het concretiseren van biologieonderwijs over regulatie en homeostase in de bovenbouw van het Voortgezet Onderwijs. Gezien de in hoofdstuk 2 omschreven uitgangspunten voor dit onderwijs houdt dit in dat ook wordt verkend welke consequenties van de keuze van de organicistische visie op leven heeft voor de wijze waarop het thema aan de orde wordt gesteld.

In beide onderzoeken gaat het om een literatuuronderzoek waarbij gegevens zijn verzameld over het *gebruik en de betekenis van het begrip homeostase*, respectievelijk in de vakwetenschap (§ 3.2) en in het secundair onderwijs (§ 3.3).

3.2 Literatuuronderzoek naar het begrip homeostase in de vakwetenschap

In biologische en medische literatuur wordt regelmatig gebruik gemaakt van de *term* homeostase. Daarnaast kan de term ook regelmatig worden aangetroffen in populair-wetenschappelijke teksten en in disciplines van geheel andere aard. Indien van een term op zo'n ruime schaal gebruik gemaakt wordt, roept dit de vraag op wat precies de begripsinhoud is van deze term. Of zoals de 'homeostase-biograaf' Langley [1] al in 1966 stelde: 'How much broader can the term be without losing all meaning; how much more can it be stretched without breaking?' Het beantwoorden van de vraag naar de begripsinhoud is zeker van belang in een onderwijssituatie waarin leerlingen en docent over deze begrippen (leren) communiceren. Daarmee is de aanleiding voor het uitvoeren van dit deelonderzoek geschetst: aan de hand van een verkenning van relevante vakliteratuur zal worden nagegaan welke plaats en betekenis het concept homeostase heeft in de vakwetenschap.

3.2.1 Doel en werkwijze

Het doel van het onderzoek is om de inhoud, betekenis en reikwijdte van het begrip homeostase te omschrijven met het oog op het gebruik in het secundair onderwijs. Het onderzoek moet dus aanwijzingen opleveren voor het invullen van de vak-inhoudelijke component van het beoogde onderwijs.

In verband daarmee zal ook worden nagegaan welke specifieke biologische voorbeelden en verschijnselen in verband met het begrip homeostase in de vakliteratuur worden aangetroffen.

Bij dit deelonderzoek is uitgegaan van de volgende vraagstellingen:

- hoe heeft de definitie, het gebruik en de toepassing van het begrip homeostase zich ontwikkeld in de vakwetenschap en in andere disciplines ?
- in welke biologische contexten en met betrekking tot welke organisatieniveaus wordt het begrip gebruikt ?
- welke voorbeelden, modellen en verklaringen worden gebruikt in verband met homeostase ?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden werd primaire en secundaire vakliteratuur bestudeerd. Een belangrijke plaats werd hierbij ingenomen door bekende monografieën en handboeken uit de verschillende biologische subdisciplines, waarbij de ingang werd gekozen via de trefwoordenregisters. De verkenning van deze literatuur leverde vaak verwijzingen op naar eerdere publicaties over homeostase en/of verwante begrippen. Voorts werden de geautomatiseerde literatuurbestanden BIOSIS en ERIC op trefwoorden nagezocht.

Als eerste stap in deze studie werd literatuur betreffende de oorsprong en oorspronkelijke betekenis van het begrip homeostase verkend en werd de ontwikkeling van het begrip gevolgd in de animale en medische fysiologie, de disciplines waarin het homeostase-concept tot ontwikkeling kwam. Voorts werd de positie van het begrip in andere experimenteel-biologische disciplines (oecologie, ethologie en genetica) nagegaan, en werd aandacht gegeven aan literatuur met een theoretisch-biologisch karakter.

Bij deze literatuurstudie werden naast het kernbegrip 'homeostase' ook verwante begrippen als 'regulatie', 'steady-state', 'dynamic-equilibrium', 'feed-back-systems' en 'balance' betrokken. Door vergelijking van de definities en omschrijvingen van de verschillende begrippen in de literatuur werd de mate van overeenkomst of verschil tussen deze begrippen vastgesteld om een nauwkeurig beeld te krijgen van de inhoud en reikwijdte van het homeostase-concept. De resultaten van deze verkenningen werden vervolgens samengevoegd en samengevat, waarbij ervoor werd gezorgd dat de kernaspecten zonder informatieverlies werden weergegeven. Tenslotte werd nagegaan op welke wijze deze kernaspecten in een organicistisch perspectief geplaatst kunnen worden.

3.2.2 Het begrip homeostase in de animale en humane fysiologie

Oorsprong van het begrip

In alle studies over de geschiedenis van het homeostase-concept komt naar voren dat de grondslag voor dit concept is gelegd door de medisch-fysiologen Claude Bernard (1813-1878) en Walter Cannon (1871-1945), (Goodfield [2], Adolph [3], Leake [4], Langley [1,5], Holmes [6], Hardy [7]).

De introductie van het begrip (en de term) homeostase door Cannon in 1926 kan worden beschouwd als een uitwerking van visies en ideeën die circa zeventig jaar eerder door Bernard waren geformuleerd.

Bernard [8,9] introduceerde omstreeks 1860 het onderscheid tussen een milieu extérieur en een milieu intérieur. Met milieu extérieur werd de omgeving van het organisme-als-geheel aangeduid, terwijl met milieu intérieur de directe omgeving van 'les parties élémentaires de l'organisme' werd bedoeld. Dit celomringende milieu wordt gevormd door de lichaamsvloeistof. Bernard wees er op dat deze vloeistof een constante samenstelling heeft. Dit laatste is van cruciale betekenis: het overleven van de afzonderlijke cellen van een meercellig organisme is slechts mogelijk binnen nauwe fysisch-chemische grenzen. Bernard [10] formuleerde later de stelling dat '*La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre*'. Hiermee werd het verband aangegeven tussen de constante samenstelling van de lichaamsvloeistof en de mogelijkheid van dieren om 'vrij' te leven. Bernard gaf daarmee aan dat de relatieve onafhankelijkheid van hogere dieren van hun omgeving gebaseerd is op de eigenschappen van het interne, celomringende milieu. Van het werk en de ideeën van Bernard ging grote invloed uit op de ontwikkeling van het fysiologisch onderzoek, met name op dat naar de regulatie van het milieu intérieur. Dit onderzoek had aanvankelijk betrekking op de mens, later ook op andere hogere dieren.

Cannon [11,12] introduceerde het begrip (en de term) 'homeostase' en verwees daarbij expliciet naar het werk en de geciteerde stelling van Bernard. Door Cannon werd het begrip als volgt omschreven:

'The steady states of the fluid matrix of the body are commonly preserved by physiological reaction, i.e., by more complicated processes than are involved in simple physico-chemical equilibria. Special designations, therefore, are appropriate: -"homeostasis" to designate stability of the organism; "homeostatic conditions", to indicate details of the stability; and 'homeostatic reactions", to signify means for maintaining stability'.

Het homeostase-concept werd door Cannon uitgewerkt in het boek 'The wisdom of the body' en geïllustreerd aan de hand van voorbeelden ontleend aan het menselijk lichaam [13]. De homeostase van het lichaam-als-geheel zag Cannon als het resultaat (of 'produkt') van de volgende deel-homeostases:

The constancy of the water content

The constancy of the salt content of the blood

The homeostasis of blood sugar

The homeostasis of blood proteins
The homeostasis of blood fat
The homeostasis of blood calcium
The homeostasis of neutrality in the blood
The constancy of body temperature

Niet duidelijk wordt om welke reden Cannon bij de aanduiding van deze verschillende regulaties onderscheid maakt tussen 'homeostasis' enerzijds en 'constancy' anderzijds. Bij de bespreking van de verschillende deel-homeostases wordt het procesaspect ervan benadrukt: het gaat om het handhaven van de waarde van een bepaalde parameter op een specifieke, 'ingestelde' waarde. Cannon gebruikte het begrip homeostase dus zowel om specifieke vormen van homeostase aan te duiden, als in overkoepelende zin. Bij de uitwerking van het begrip in de laatste betekenis, dus als paraplubegrip, werd door Cannon ook aandacht geschonken aan de afstemming tussen de regulatieprocessen die bij de verschillende deel-homeostases aan de orde zijn.

Ontwikkeling van het begrip

Na de introductie van het begrip homeostase door Cannon vond het begrip geleidelijk ingang in de verschillende biologische disciplines. Door experimenteel onderzoek werden vanuit de dierfysiologie en de vergelijkende fysiologie belangrijke bijdragen geleverd aan het vergroten van kennis over de regulatie van het interne milieu van organismen en daarmee over homeostase.

In de -van oorsprong wat oudere en regelmatig geactualiseerde- veel gebruikte handboeken op het terrein van de *dierfysiologie* van Scheer [14], Prosser [15] en Eckert & Randall [16] wordt homeostase gedefinieerd conform de oorspronkelijke omschrijvingen van Bernard en Cannon. Met het begrip homeostase wordt verwezen naar een eigenschap of vermogen van (onderdelen van) een organisme, of naar dynamische evenwichtssituaties en de daarmee samenhangende processen binnen het organisme. Het organisme kan hierdoor leven en overleven in een omgeving die in negatieve zin -bijvoorbeeld als 'vijandig', 'alien' of 'niet-passend'- wordt getypeerd. Hier zou gesproken kunnen worden van '*strijd*'-typeringen.

Geconstateerd kan worden dat vanaf het einde van de vijftiger jaren het denken over fysiologische processen als regulatie en homeostase in belangrijke mate beïnvloed is door de opkomst van de algemene systeemtheorie en van de cybernetica.

Dit wordt geïllustreerd door Von Bertalanffy [17] die als volgt afstand neemt van mechanistische benaderingen van regulatieprocessen: ... 'a machine-like structure of the organism cannot be the ultimate reason of order of life processes. The primary order must, therefore, lie in the process itself': Homeostase wordt door Von Bertalanffy [18] getypeerd als een specifieke vorm van feed-back regulatie .. 'which is basic in cybernetics and was biologically formulated in Cannon's concept of homeostasis', en die '...should not be considered a cover-all for physiological regulation in general or identified with "systems theory"'. Voor feed-back regulatie is kenmerkend dat:

'regulation is based upon pre-established arrangements ('structures' in a broad sense),

-causal trains within the feed-back system are linear and unidirectional, ...only the feed-back loop being added so that causality becomes circular,

-typical feed-back or homeostatic phenomena are 'open' with respect to incoming information, but 'closed' with respect to matter and energy'.

Waterman [19] wijst er op dat '... Claude Bernard's attention to stabilization of the milieu intérieur and Walter Cannon's analysis of homeostatic functions of the autonomic nervous system derived their great strength from what nowadays would be considered as a kind of systems analysis'. Von Bertalanffy en Waterman plaatsen regulatie en homeostase in een systeemperspectief, wat past in een benadering waarbij fysiologische verschijnselen en processen in functie van de wisselwerking tussen organisme en omgeving worden gezien.

In de fysiologische literatuur komt dit systeemperspectief in het midden van de zestiger jaren ook naar voren in de benadering van het concept door o.m. Balfour-Slonim [20], Phillips [21], Bligh *et al.* [22] en Hill [23]. Hier worden fysiologische functies beschreven en geanalyseerd in samenhang met de omgeving waarmee het organisme in verbinding staat. Bovengenoemde auteurs duiden deze benadering aan als 'environmental physiology'. De omschrijvingen van het begrip homeostase komen overeen met de definities die in de hiervoor geciteerde fysiologische literatuur werden gevonden. Met behulp van de systeembenadering worden de plaats en de functie van regulatie in het geheel van de fysiologische interactie van het organisme met de omgeving aan de orde gesteld.

Hill [23] verbindt het begrip homeostase met de begrippen zelfhandhaving en open systeem. Verwijzend naar Bernard omschrijft hij de relatie tussen organisme en omgeving als volgt: 'Organism and environment are defined in terms of each other. It is only by saying what is 'organism' that we can say what is 'environment'. Kenmerkend voor de 'environmental physiology' is dat de omgevingsfactoren precies worden gedefinieerd, en dat de relatie tussen organisme en omgeving wordt beschreven in termen van onderlinge wisselwerking. Hier kan worden gesproken van 'interactie'-typeringen.

De opkomst van de cybernetica en informatietheorie is zichtbaar bij Talbot & Gessner [24], Toates [25] en Cleffmann [26]. Deze auteurs gebruiken voor het beschrijven en analyseren van regulatieprocessen cybernetische modellen waarin *negatieve feed-back* en een *set point* essentiële elementen zijn van een specifiek type regulatie, waarbij sprake is van een *in het organisme geïncorporeerde 'vaste' referentiewaarde*. Voor dit regulatietype wordt -in navolging van de engelse terminologie 'homeostatic regulation'- in het vervolg de aanduiding *homeostatische regulatie* gebruikt.

Toates [25] heeft er in dit verband op gewezen dat er naast bovengenoemd type regulatie, biologische regelingen bestaan die niet '...necessarily involve anything directly corresponding to an engineering set point'. De specificatie van deze auteur is van belang omdat aan de hand daarvan onderscheid gemaakt kan worden tussen een homeostatische regulatie en de andere regulatietypen.

Actuele positie en betekenis

Het onderzoek in de animale en medische fysiologie heeft -mede door het gebruik van een cybernetische, modelmatige benadering- geleid tot een nauwkeurig inzicht in de structuren en processen die aan de basis staan van regulatie bij dierlijke organismen. Stewart [27] spreekt in dit verband van 'a healthy cross-fertilization between the biological and engineering sciences'.

Een helder overzicht van de huidige inzichten in de fysiologie geeft Withers [28]. Deze auteur spreekt van 'processes by which homeostasis (constancy) and regulation are achieved by animals in varying and variable environments.' Homeostase wordt gebruikt als een paraplu-begrip om 'a constancy of the intracellular en extracellular conditions' bij dieren aan te duiden, en deze 'constancy is a consequence of regulatory mechanisms'. Withers onderscheidt drie typen 'regulatory mechanisms', die worden aangeduid als 'equilibrium homeostasis', 'steady state homeostasis' en 'regulatory feedback homeostasis'.

Met '*equilibrium homeostasis*' worden door Withers situaties aangeduid waarbij een interne variabele in evenwicht is met een externe variabele 'without the necessity of any regulatory mechanism'. Het begrip homeostase wordt hier toegepast op een evenwichtssituatie die niet door regulatie tot stand komt. Als voorbeeld vermeldt de auteur dat 'the body temperature of an ice-fish, which lives in the ice-cold antarctic seawaters, is -1.9°C and might not vary over a year by more than 1°C , a variation less than that of the human body over a 24 hour period !'

Met '*steady-state homeostasis*', wordt verwezen naar een 'open loop dynamic equilibrium system' waarbij een constante evenwichtssituatie wordt bereikt door (o.m.) een concentratie-afhankelijke verbruikssnelheid. Dit regulatietype kan aangeduid worden als een *dynamische evenwichtsregulatie*. Als voorbeeld noemt de auteur 'the average blood concentration of an important reproductive hormone, luteinizing hormone (LH), in female mammals'.

Voor '*regulatory feed-back homeostasis*' geldt dat: 'the four essential elements of such a regulatory system -set point, sensor, feed-back, and effector- are unique to this form', en voorts dat ... 'Examples include constancy of blood temperature in mammals and birds, constancy of blood gases (pO_2 and pCO_2) in body fluids of many animals, blood pressure in animals with circulatory systems, blood glucose regulation, and body water content in most animals'.

Withers beschouwt alleen de twee laatstgenoemde mechanismen, de dynamische evenwichtsregulatie en de homeostatische regulatie, als 'biologische' regulaties.

De door Withers gegeven omschrijving van 'regulatory feed-back homeostasis' komt overeen met de typering die Balfour-Slonim [20], Phillips [21], Bligh *et al.* [22] en Hill [23], geven van een homeostatische regulatie. Het betekent dat de termen '*regulatory feed-back homeostasis*' en '*homeostatische regulatie*' als synoniemen kunnen worden beschouwd.

Stewart [27], die voor dit regulatietype de term 'homeostatic mechanism' gebruikt, signaleert met betrekking tot het gebruik van het set-point concept dat dit concept een belangrijk element vormt in modellen voor het beschrijven en verklaren van

homeostatische regulaties. Daarbij is het -aldus Stewart- van minder belang of er sprake is van 'a set-point having any physical embodiment', dan wel van een systeem-eigenschap. Er is sprake van een set-point indien 'the system behaves as if a set point exists'. Stewart illustreert aan de hand van het verschijnsel koorts het belang van het set-point concept voor het beschrijven en verklaren van dit verschijnsel.

Overigens zijn er ook vooraanstaande dierfysiologen die geen gebruik (willen) maken van homeostase-terminologie zoals bijvoorbeeld Schmidt-Nielsen [29]. Deze auteur spreekt van 'regulation' en 'control', waarbij het principe van de hiervoor beschreven homeostatische regulatie wordt geïllustreerd aan de hand van de voorbeelden van de kamerthermostaat en de lichaamstemperatuurregulatie. In navolging van deze auteur bepleit ook Vogel [30] om het gebruik van de term homeostase te vermijden, en in plaats hiervan termen als 'control' en 'regulation' te gebruiken. Vogel stelt daarbij de volgende vraag: 'Does the term refer to the state of constancy in organisms, or to the reactions by which relative constancy is achieved, or to some cosmic imperative toward regulation?' De auteur komt niet tot duidelijke antwoorden, maar merkt wel op dat: 'The term may give less trouble as adjective than as noun, so one might safely call all the present devices "homeostatic mechanisms".' Vogel geeft echter de voorkeur aan de aanduiding 'negative feedback mechanisms'.

In verschillende handboeken wordt een overzicht gegeven van regulaties die kunnen gelden als *voorbeeld van homeostatische regulatie*. Vogel [30] vermeldt dat 'the principal items are blood composition, blood pressure and, for mammals and birds, body temperature'. Zoals hiervoor reeds werd vermeld, noemt Whithers [28] als voorbeelden 'constancy of blood temperature in mammals and birds, constancy of blood gases (pO_2 and pCO_2) in body fluids of many animals, blood pressure in animals with circulatory systems, blood glucose regulation, and body water content in most animals'.

Hardy [7] noemt de volgende voorbeelden: 'the regulation of energy intake' (waarbij de 'glucostat'- en 'lipostat'-theorie aan de orde komen), 'the regulation of deep body temperature' en 'the regulation of the volume and osmolarity of extracellular fluid'. Bij dit laatste komen aan de orde de regeling van de waterbalans (controle van water afgifte, osmoregulatie, volumeregulatie, controle van wateropname) en de regeling van de Na^+ -balans (controle van natriumafgifte, controle van aldosteronsecretie). Van al deze voorbeelden wordt dat van de *lichaamstemperatuurregulatie* bij zoogdieren en vogels het meest gebruikt en uitvoerig besproken om de structuur en werking van een homeostatische regulatie exemplarisch aan de orde te stellen. Mogelijk hangt dit samen met het feit dat deze regulatie zowel in de biologie als in de geneeskunde van oudsher sterk in de belangstelling staat en dat er veel en diepgaand onderzoek naar is verricht waardoor de anatomische localisatie van de elementen van de betreffende regelkring bekend is. Voorts speelt hierbij wellicht nog een rol dat deze regulatie gepaard gaat met waarneembare en meetbare verschijnselen die ieder mens bekend zijn.

In de fysiologische literatuur wordt in dit verband -naast de regeling van de 'normale' lichaamstemperatuur- ook aan het verschijnsel *koorts* veelvuldig aandacht geschonken. Koorts kan worden getypeerd als het fysiologische verschijnsel waarbij het temperatuurregulatiesysteem -door een verhoging van het set-point- een verhoging van de lichaamstemperatuur bewerkstelligt.

Een overzicht van actuele vragen en inzichten rond dit verschijnsel geeft Louw [31]. Deze auteur gaat uit van de centrale vraag die fysiologen reeds lang bezighoudt, namelijk of koorts louter als symptoom van ziekte moet worden beschouwd of dat er ook een 'survival or adaptive value' aan kan worden toegekend. Uit onderzoek bij endotherme organismen, in de eerste plaats de mens, is gebleken dat de verhoogde temperatuur gepaard gaat met het vrijmaken van endogene pyrogene stoffen, wat positieve (ziektebestrijdende) effecten heeft. Zo wordt daardoor bijvoorbeeld de hoeveelheid ijzer die in de bloedstroom circuleert, gereduceerd, wat de reproductie van binnengedrongen pathogenen remt. In dit opzicht levert koorts -aldus Louw- een positieve bijdrage aan het tegengaan van levensbedreigende invloeden van buiten.

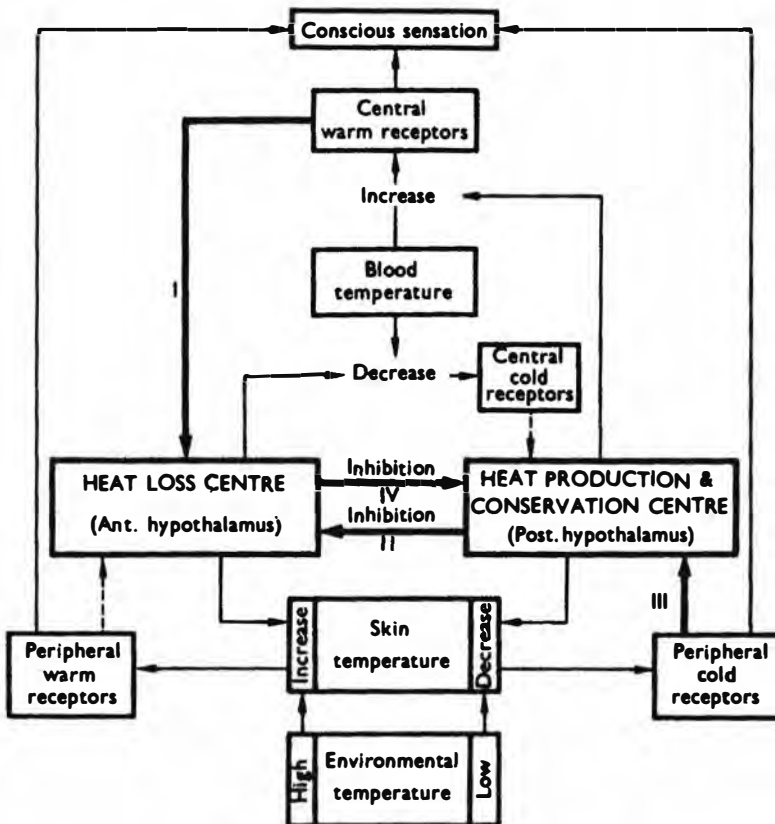
In verband met de vraag naar de survival value van koorts wijst Louw op de experimenten met ectotherme organismen van Vaughn *et al.* [32], Kluger *et al.* [33] en Boorstein & Ewald [34]. Uit deze onderzoeken is gebleken dat bij twee ectotherme diersoorten (een hagedissen- en een sprinkhaansoort), ook in het geval van een kunstmatige bacteriële infectie, sprake is van adequaat thermoregulatorisch gedrag, wat resulteert in een groter aantal overlevende dieren. Deze experimenten suggereren dat koorts een survival value heeft. Uit de recentere overzichtsstudie van Mitchell *et al.* [35] -waarin onderzoek aan 40 ectotherme soorten wordt gerapporteerd- blijkt echter dat bij slechts enkele van deze soorten koorts-gedrag voorkomt met een survival value. De vraag of koorts bijdraagt aan de 'survival value' van organismen moet -zo concludeert ook Louw- dan ook onbeantwoord blijven.

Ook onder medici bestaat de opvatting dat koorts als een natuurlijk fenomeen moet worden gezien, dat het organisme ten dienste staat of kan staan bij de afweer van infecties. Een illustratie hiervan vormt de genuanceerde benadering van koortsbestrijding bij kinderen door Winterberg en De Groot [36]. Aan de hand van onderzoeksliteratuur concluderen deze auteurs dat koorts in veel gevallen nut heeft voor de gastheer; zij adviseren derhalve een terughoudend gebruik van behandeling ervan met antipyretica. Overigens blijft onbestreden dat het gebruik van deze koortsremmende medicijnen een gunstige invloed heeft op het verloop van bepaalde ernstige infecties, en dat er -indien ziektebestrijding in zo'n geval alleen aan het lichaam wordt overgelaten- vaak sprake is van een fatale afloop.

In de fysiologische literatuur wordt voor het beschrijven en verklaren van regulatiemechanismen van oudsher gebruik gemaakt van modellen, schema's etc. Hardy [37] heeft de modellen geïnventariseerd die in verband met lichaamstemperatuurregulatie zijn ontwikkeld en merkt naar aanleiding hiervan op dat met name de modellen van Hensel [38] (uit 1952) en van Benzinger [39] (uit 1959) een belangrijke invloed hebben gehad op het onderzoek naar de werking van het tempera-

tuurregulatiesysteem: deze modellen bevatten a.h.w. hypothesen betreffende de werking van dit systeem, en waren aanleiding voor verder gericht empirisch onderzoek. Mede met het oog op gebruik in het onderwijs heeft Hardy [7] deze modellen geactualiseerd en bewerkt tot een schema aan de hand waarvan verschijnselen en processen van temperatuurregulatie kunnen worden beschreven, verklaard en voorspeld (Afb. 3.1).

Afb. 3.1 / Schema van het temperatuurregulatiesysteem (In: Hardy [7])



3.2.3 Gebruik in andere (deel)disciplines

Bij literatuuronderzoek naar het gebruik van het begrip homeostase in *andere deeldisciplines van de biologie* komt naar voren dat het begrip homeostase in enkele van deze disciplines is overgenomen, met name in de oecologie.

In de handboeken op het terrein van de *oecologie* van Allee *et al.* [40], Odum [41], Wynne-Edwards [42], May [43], Krebs [44] en Smith [45] wordt het begrip homeostase aangetroffen als aanduiding van zowel evenwichtssituaties als regulatieprocessen in populaties en ecosystemen. De term wordt door deze auteurs regelmatig gebruikt als synoniem voor en als variatie op termen als 'equilibrium', 'stability', 'balance' en 'selfregulation'. Met name Wynne-Edwards [42] gaat uit van het bestaan van 'intrinsic controlling factors' die als gevolg van natuurlijke selectie zijn 'ingebouwd' in het dier. Van deze auteurs geeft alleen Smith [82] een theoretische uitwerking van het begrip 'eco-system homeostasis' en van het set-point principe, echter aan de hand van een 'technisch' voorbeeld (kamerthermostaat) en van het voorbeeld van thermoregulatie bij organismen!

Gray [46] spreekt van 'population homeostasis' en gebruikt in verband hiermee het begrip 'density-stat'. Deze auteur stelt dat er overtuigende bewijzen zijn voor 'intrinsic mechanisms of population control', zonder deze overigens te geven.

In het recente handboek van Begon *et al.* [47] worden de begrippen homeostasis en homeostatic control uitsluitend gebruikt in verband met 'maintenance of relatively constant internal conditions in the face of a varying external environment'. Deze auteurs conformeren zich daarmee aan het gebruik van het begrip in de fysiologie en vermijden het gebruik ervan op populatie- en oecosysteemniveau.

Binnen de oecologie bestaan tegengestelde opvattingen over de vraag of regulatieprocessen in populaties en ecosystemen wel cybernetisch en/of zelfregulerend van aard zijn. Dit komt naar voren uit de opvattingen van bijv. Andrewartha & Birch [48], en uit de discussie tussen enerzijds Engelberg en Boyarsky [49] en anderzijds Patten en Odum [50]. In deze discussie staat de vraag centraal of regulaties op dit organisatieniveau wel beschreven en begrepen kunnen worden met behulp van informatie-theoretische modellen.

Samenvattend geeft de *oecologische vakliteratuur* het volgende beeld te zien. In een aantal handboeken wordt het begrip homeostase gebruikt in verband met evenwichtssituaties op populatie- en ecosysteemniveau. Er zijn echter geen empirische gegevens aangetroffen die wijzen op het voorkomen van *feed-back regulaties op basis van een set point* op het niveau van populaties en ecosystemen. Het regulatietype dat op deze niveaus voorkomt, kan -conform de in voorgaande paragraaf besproken typologie van Withers [27]- worden aangeduid als 'steady state homeostasis'. In de handboeken wordt voor het illustreren van dit regulatietype gebruik gemaakt van voorbeelden van dichtheidsafhankelijke aantalsregulaties, prooi-predatorcycli etc.

In de handboeken op het gebied van de *ethologie* van Hinde [51] en Manning [52] wordt het begrip homeostase incidenteel gebruikt in verband met fysiologische processen in een organisme. Bij Alcock [53] is het begrip niet aangetroffen. In verband met sociale insecten geeft Wilson [54] een uitwerking van het begrip 'social homeostasis'. Wilson verbindt het begrip met het idee van Wheeler [55], dat een populatie van sociale insecten gezien kan worden als een super-organisme.

In de handboeken op het terrein van de *genetica* van Sinnott *et al.* [56] en Strickberger [57] zijn de begrippen 'genetic homeostasis' en 'developmental homeostasis' aangetroffen. Hiermee wordt aangeduid dat kenmerken ongewijzigd doorgegeven en behouden kunnen worden bij reproductie- en ontwikkelingsprocessen van organismen.

De tendens om het begrip homeostase te gebruiken als synoniem voor bepaalde vormen van evenwicht wordt ook buiten de biologische en medische disciplines waargenomen. Aan de basis hiervan ligt de systeemtheoretische benadering die ingang heeft gevonden in disciplines als de psychologie, de sociologie, de economie en de organisatiekunde.

Von Bertalanffy [58] gaat -aan de hand van een analyse van het werk van Buhler [59]- in op het gebruik van het begrip homeostase in verband met persoonlijkheidstheorieën. Von Bertalanffy komt tot de conclusie dat een begrip als 'psychological homeostasis' een zo andere betekenis heeft dat daarmee het gevaar aanwezig is dat 'this physiologically well-defined concept loses all meaning'... 'Furthermore, if the principle of homeostatic maintenance is taken as a golden rule of behaviour, the so-called well adjusted individual will be the ultimate goal, that is a well-oiled robot maintaining itself in optimal biological, psychological and social homeostasis.'. Von Bertalanffy signaleert hiermee de overgang van het gebruik van homeostase als *empirisch* begrip naar het gebruik als *ideologisch* begrip, en neemt duidelijk afstand van dit laatste.

Lovelock [60] beschouwt het geheel van natuurlijke processen op aarde en in de biosfeer als een cybernetisch systeem. In de Gaia-hypothese wordt de aarde gezien als een levend organisme dat kenmerken en eigenschappen bezit als andere levende systemen. Lovelock meent dat de temperatuurregulatie van het organisme 'aarde' parallellen vertoont met fysiologische regulaties die bij dierlijke organismen worden aangetroffen. Lovelock gebruikt het begrip 'homeostase' als aanduiding voor de zelfregulatie en de stabiliteit van de natuurlijke processen op aarde en in de biosfeer. In een commentaar op het gebruik van het begrip homeostase in brede of in enge zin maakt Von Bertalanffy [58] bezwaar tegen een brede toepassing van het begrip '... I propose to use the word in its narrower but well-defined sense, and this has important consequences as it reveals certain limitations which often are forgotten.'.

3.2.4 Vakwetenschappelijke begrippen en hun relevantie voor het biologieonderwijs

In deze paragraaf worden de hiervoor gerapporteerde uitkomsten van het onderzoek van de vakliteratuur besproken met het oog op hun relevantie voor het secundair onderwijs. Daarbij komen aan de orde de begripsinhoud en begripsomschrijving, de reikwijdte van het begrip homeostase, de homeostase-terminologie en het gebruik van voorbeelden en modellen van regulatie. Tenslotte wordt nagegaan hoe de begrippen regulatie en homeostase passen in het gekozen organicistische perspectief.

Begripsinhoud en -omschrijving

Uitgangspunt voor het literatuuronderzoek vormde de inhoudelijke omschrijving van het begrip zoals die oorspronkelijk door Cannon [11,12,13] werd gegeven. Uit deze omschrijving bleek dat Cannon het begrip homeostase in twee betekenissen gebruikte, te weten als paraplubegrip en als aanduiding van specifieke biologische regulaties bij organismen. Uit moderne biologische en medische vakliteratuur komt naar voren dat ditzelfde tweeledige gebruik tot op heden wordt voortgezet.

Inmiddels zijn vele empirische gegevens verkregen over de mechanismen van biologische regulaties; hierdoor is het mogelijk om deze regulaties nauwkeurig te beschrijven en van elkaar te onderscheiden. Het overzicht van Withers [28] geeft een duidelijk beeld van de drie hoofdtypen van regulatie, die worden aangetroffen. Twee hiervan typeert Withers als biologische regulaties: de regulatory feed-back homeostasis en de steady state homeostasis. In het Nederlands is gekozen voor respectievelijk de aanduidingen homeostatische regulatie en dynamische evenwichtsregulatie.

Het belangrijkste kenmerk van een homeostatische regulatie is dat deze feed-back regulatie is gebaseerd op een in het systeem 'ingebouwd' set point. Dit set-point opereert in beginsel onafhankelijk van andere variabelen. Op grond van deze duidelijke typering kan -met het oog op het gebruik in het biologieonderwijs- een homeostatische regulatie worden omschreven als een biologische feed-back regulatie die werkt op basis van een in het systeem geïncorporeerd set-point.

In de fysiologie wordt het begrip homeostase gebruikt als paraplubegrip voor het aanduiden van de stabiliteit van het interne milieu van organismen die tot stand komt door het samenspel van de verschillende regulatieprocessen.

Reikwijdte van het begrip

Van oorsprong heeft het begrip homeostase betrekking op fysiologische processen op organismeniveau, en is ook het begrip homeostatische regulatie van toepassing op dit niveau. Zoals werd aangegeven is in de loop der tijd het begrip homeostase ook in andere deeldisciplines dan de fysiologie in gebruik genomen, en wel met name in de oecologie. In deze deeldiscipline worden begrippen als homeostase, (natuurlijk) evenwicht en stabiliteit als synoniemen gebruikt voor het aanduiden van situaties van

evenwicht die voortkomen uit dynamische evenwichtsregulaties, het andere type van biologische regulatie dat werd onderscheiden.

Zoals aangegeven, ontbreken bij de regulaties op populatie- en oecosysteemniveau specifieke empirische aanwijzingen voor het voorkomen van 'feed-backregulaties op basis van een set point', het regulatietype waarop het begrip homeostase zich van oorsprong richtte. Sommige experts plaatsen zelfs vraagtekens bij de aanname dat er bij populaties en oecosystemen sprake zou zijn van zelfsturing en/of cybernetische mechanismen.

De empirische gegevens en voorbeelden op populatie- en ecosysteemniveau hebben dus betrekking op het regulatietype dat door Withers [28] is aangeduid als dynamische evenwichtsregulatie.

Met het oog op het biologie-onderwijs is het van belang om dit soort onhelderheden te vermijden en -conform bijv. Withers- de verschillende regulatietypen duidelijk van elkaar te onderscheiden. In verband hiermee zal het gebruik van het begrip homeostase als aanduiding van een evenwichtssituatie beperkt worden tot en met het organismeniveau, en worden op populatie- en ecosysteemniveau hiervoor begrippen gebruikt als dynamisch evenwicht, stabiliteit e.d.

Terminologie

In verband met het gebruik van homeostase-terminologie wordt door Vogel [40] betwijfeld of het gebruik hiervan een meerwaarde heeft. Deze auteur doet de suggestie om de term 'homeostase te vervangen door termen als control en regulation, en liever te spreken van 'negative feed-back mechanisms' dan van homeostatic mechanisms.

In verband met een -ook met het oog op onderwijssituaties- duidelijk gebruik van termen is de suggestie van Vogel verwarrend, aangezien negatieve feed-back ook in andere regulatietypen een rol kan spelen. De aanduiding homeostatische regulatie verdient ook de voorkeur gezien het onderscheid dat tot uiting komt in het -als een emergente eigenschap te beschouwen- set-point principe. Er is dus alle aanleiding om hiervoor -ook in het voortgezet onderwijs- de specifieke homeostase-terminologie te gebruiken. Als overweging van volstrekt andere orde wordt daaraan toegevoegd dat daarmee ook wordt terugverwezen naar de bronnen en visionaire bedenkers van het homeostase-concept.

Voorbeelden en modellen

Met het oog op het onderwijs is het van belang om de vraag te beantwoorden welke regulaties in de vakwetenschap gelden als voorbeeld van een homeostatische regulatie. Bij vergelijking van de voorbeelden van homeostase (of constancy) die door Cannon [13] zijn genoemd met de recente literatuurgegevens van Withers [28], Hardy [7], Vogel [40] blijkt dat er overeenstemming bestaat ten aanzien van de regulatie van de bloedsuikerspiegel, de lichaamstemperatuur, de hoeveelheid lichaamswater. De overige voorbeelden die door Cannon worden genoemd, hebben alle betrekking op stoffen in het bloed. Deze worden door de andere genoemde auteurs niet

aangewezen als voorbeelden van homeostatische regulatie. De regulatie van de pO_2 en de pCO_2 , en van de bloeddruk, die niet door Cannon zijn genoemd, worden door bovengenoemde auteurs wel als homeostatische regulaties getypeerd.

In de overzichtsliteratuur wordt van deze voorbeelden het proces van lichaamstemperatuurregulatie veruit het meest gebruikt ter illustratie van de werkingsprincipes van een homeostatische regulatie. In samenhang hiermee en als toepassingscasus wordt in veel van deze literatuur het verschijnsel koorts besproken, waarbij de positieve of negatieve betekenis van koorts aan de orde komt, zoals blijkt uit de literatuur die hierover werd aangehaald in de voorgaande paragraaf.

Regulatie en homeostase in organicistisch perspectief

Hierna wordt besproken op welke wijze de organicistische visie op leven als raamwerk kan fungeren om de thematiek van regulatie en homeostase aan de orde te stellen. Dit betekent dat een antwoord wordt gezocht op de vraag welke consequenties deze visie heeft voor de wijze waarop verschijnselen en processen van regulatie en homeostase worden benaderd, benoemd en verklaard.

Ayala [61] heeft erop gewezen dat de organicistische visie implicaties heeft voor de wijze waarop biologische systemen en de regulatie ervan worden beschreven en verklaard. Deze auteur stelt dat naast de systeembenadering van levensverschijnselen en levensvormen het specifieke karakter hiervan ook tot uitdrukking wordt gebracht in zogenaamde *teleological explanations*: ... 'these explanations are applied to 'self-regulating or teleonomic systems; viz. 'when there exists a mechanism that enables the system to reach or to maintain a specific property in spite of environmental fluctuations. The regulation of body temperature in mammals is a teleological mechanism of this kind. In general, the homeostatic reactions of organisms belong to this category of teleological phenomena'. Ayala plaatst daarmee regulatie en homeostase in een kader van doelmatigheid en doelgerichtheid.

Dit betekent dat in een organicistische visie levende systemen fungeren als open systemen die in continue wisselwerking staan met hun systeemomgeving en daarbij continu stoffen, energie en informatie uitwisselen. Regulatie betekent in dit kader de beïnvloeding en beheersing van de stof-, energie- en informatiestromen tussen systeem en systeemomgeving.

De uitwerking van Amen [62] van een 'biological systems concept' sluit hierop aan; homeostatische mechanismen dragen bij aan 'preservation and continuity of form in a fluctuating environment', wat wordt aangeduid als 'metastability'.

Regulatie wordt dus niet gezien als een verschijnsel, maar als een functie van het systeem die het leven en overleven van het systeem mogelijk maakt, waarbij dierlijke organismen dankzij homeostatische regulaties -in zekere mate- onafhankelijk (kunnen) zijn van hun omgeving. De systeembenadering kan mede als kader worden gebruikt om het onderscheid tot uitdrukking te laten komen tussen de verschillende regulatiemechanismen die in § 3.2.2 werden omschreven in navolging van Withers [27].

Het benoemen en verklaren van regulatie in termen van beheersing van de wisselwerking van systeem en systeemomgeving betekent in dit verband dat wordt aangegeven

tussen welke systeemniveaus deze wisselwerking zich afspeelt, welke stromen van stof, energie en informatie hierbij betrokken zijn en hoe deze verlopen, en welke structuren hierbij een rol spelen.

3.2.5 Conclusies

Met het oog op het ontwerpen en uitwerken van de vakinhoudelijke component van onderwijs over regulatie en homeostase komen uit dit deelonderzoek de volgende gegevens en aanwijzingen naar voren.

In de vakwetenschap bestaat precies omschreven en gedetailleerde kennis bestaat over de werking en structuur van biologische regulatieprocessen. Op grond hiervan kunnen twee typen van biologische regulatie worden onderscheiden: de homeostatische regulatie en de dynamische evenwichtsregulatie. Het onderscheid tussen beide typen is in de voorgaande paragraaf besproken. Om dit onderscheid in het onderwijs tot uitdrukking te laten komen is het noodzakelijk om de specifieke, onderscheidende kenmerken van beide regulatietypen expliciet aan de orde te stellen (waarbij het set-point concept een centrale positie inneemt) en van een passende terminologie gebruik te maken. Met behulp van het systeem perspectief kan de interactie van het systeem en de systeemomgeving worden gepreciseerd en daarmee het systeemniveau waarop een specifieke regulatie opereert. Ook deze specificatie draagt bij aan het maken van onderscheid tussen beide regulatietypen.

Voor wat betreft het gebruik van *terminologie* wordt er met het oog op het onderwijs voor gekozen om onderscheid te maken tussen het gebruik van het begrip *homeostatische regulatie* als aanduiding van een specifieke vorm van regulatie en van het paraplubegrip *homeostase* dat verwijst naar een evenwichtssituatie als resultaat van de interactie van meerdere homeostatische regulaties. De reikwijdte van de begrippen homeostase en homeostatische regulatie strekt zich uit tot en met het organismeniveau, wat overeenkomt met de reikwijdte van het homeostaseconcept in de oorspronkelijke visie van Bernard en Cannon.

Op populatie- en ecosysteemniveau vindt biologische regulatie plaats in de vorm van *dynamische evenwichtsregulatie*. Dit regulatietype wordt -naast op de genoemde niveaus- ook op cel- en organismeniveau aangetroffen en heeft dus een groter bereik. In verband hiermee wordt voor regulaties op populatie en ecosysteemniveau de homeostase-terminologie niet gebruikt, maar wordt gekozen voor het begrip *dynamische evenwichtsregulatie*, waarbij op deze niveaus gebruikte begrippen als stabiliteit, dynamisch evenwicht en natuurlijk evenwicht aansluiten.

Om het principe en de werking van een *homeostatische regulatie* aan de orde te stellen, wordt in de vakliteratuur van verschillende voorbeelden gebruik gemaakt. Voor gebruik in het secundair onderwijs komen -ook gezien het examenprogramma- als voorbeelden in aanmerking de regulatie van de bloedsuikerspiegel, van de ademhaling of van de lichaamstemperatuur. Op grond van ervaringen met dit laatste voorbeeld in de didactische praktijk, lijkt de temperatuurregulatie -en in het verlengde hiervan het verschijnsel koorts- het meest in aanmerking te komen om het begrip te

introduceren in het secundair onderwijs. In vervolg hierop kan aan de hand van de beide andere voorbeelden de kennis verder worden verdiept.

Het principe en de werking van een *dynamische evenwichtsregulatie* kunnen worden geïllustreerd aan de hand van voorbeelden van dichtheidsafhankelijke aantalsregulaties, predator-prooi-cycli etc. Voorbeelden van insecten-kolonies kunnen worden gebruikt om het super-organisme-concept aan de orde te stellen en in verband daarmee in te gaan op de aard en functie van de regulaties die bijdragen aan de stabiliteit van deze sociale systemen.

3.3 Literatuuronderzoek naar het begrip homeostase in het secundair onderwijs

3.3.1 Doel en werkwijze

Met dit onderzoek wordt beoogd om inzicht te krijgen in de plaats die het homeostase-begrip inneemt in het secundair onderwijs en met name om na te gaan op welke wijze dit begrip aan de orde wordt gesteld of kan worden gesteld. Deze gegevens worden verzameld door *binnenlandse en buitenlandse leergangen* te verkennen en door te zoeken naar aanwijzingen voor de didactische praktijk in *vakdidactische handboeken en praktijktijdschriften*.

De keuze om *leergangen* te verkennen was gebaseerd op de veronderstelling dat deze een grote rol spelen in het onderwijs. Recentelijk is door de onderzoeksresultaten van Kuiper [63] bevestigd dat schriftelijk onderwijsmateriaal, en het gebruikte leerboek in het bijzonder, een grote invloed heeft op de inhoud van het onderwijsaanbod en op de accenten die daarbij worden gelegd. Daarmee werd de eerder gemaakte keuze ondersteund om in dit onderzoek als gegevensbron uit te gaan van onderwijsmethoden en schoolboeken: verwacht mag worden dat de begripsomschrijvingen in dit materiaal indicatief zijn voor de wijze waarop het begrip in school aan de orde komt. In dit onderzoek werden zowel Nederlandse als buitenlandse bronnen betrokken. Bij het selecteren van de Nederlandse schoolboeken gold als criterium dat deze leergang gezien het marktaandeel als invloedrijk kan worden beschouwd. Voor een oriëntatie op buitenlandse leergangen werd curriculummateriaal gekozen waarvan belangrijke vernieuwende impulsen zijn uitgegaan op het biologieonderwijs. Op grond hiervan werd het BSCS- en het Nuffield-materiaal gekozen, respectievelijk afkomstig uit de Verenigde Staten en Engeland. Dit materiaal is inmiddels weliswaar qua opzet en vormgeving enigszins gedateerd, maar representeert een vakinhoudelijk gedachtengoed dat onverminderd origineel en actueel is.

Alle boeken werden gescreeend op het begrip homeostase en op enkele hiermee verband houdende begrippen, zoals zelfregulatie, zelfhandhaving, biologische systemen, biologische mechanismen, aanpassing, biologisch evenwicht, stabiliteit, en verstoring van evenwicht. Daarbij werd nagegaan op welke wijze deze begrippen worden gebruikt en werden de begripsinhoud en de biologische context getypeerd.

Naast biologie-leergangen werd in vakdidactische handboeken en praktijktijdschriften gezocht naar *aanwijzingen voor de didactische praktijk*. Nagegaan werd welke voorschriften en voorbeelden werden gegeven aangaande onderwijs rond de thematiek van regulatie en homeostase en of hiervan gebruik gemaakt kon worden bij het uitwerken van dit onderwijs. Daartoe werd een aantal bekende handboeken op het terrein van de biologie-didactiek geraadpleegd, en werden -via de trefwoordenregisters- tijdschriftartikelen op het terrein van de didactiek van de biologie en van de didactiek van de andere natuurwetenschappen opgespoord en verkend.

3.3.2 Resultaten

Nederlandse leergangen

Voorafgaand aan de uitkomsten van de verkenningen in Nederlandse schoolboeken volgt eerst een beknopte weergave van de beschrijving die door Kamp [64] is gegeven van de onderwijspraktijk in de bovenbouw van het VWO rond het begrip homeostase. Kamp signaleert dat het aanreiken van het begrip homeostase door veel leraren liefst impliciet gebeurt, aangezien zij -als het enigszins kan- 'vreemde' vaktermen willen vermijden. Over de inhoud (leerstof) die in verband met het begrip homeostase aan de orde komt, wordt het volgende opgemerkt: 'In het algemeen wordt een les of een klein aantal lessen besteed aan het onderwerp regelkring, positieve maar vooral negatieve feedback, set-point enzovoort. Geliefd voorbeeld is de thermostaat van de centrale verwarming.' Deze begripsinhoud wordt bij voorkeur behandeld in het kader van thema's als regulatie en hormonen, maar komt ook bij onderwerpen als bloed, lever, nieren, groei, huid en enzymen aan de orde, aldus Kamp.

Het gebruik en de inhoud van het homeostase-begrip in drie Nederlandse biologiemethodes (Biologie / Kreutzer-Oskamp [65,66], Biologie / Van Biezen [67,68], en Exact Biologie [69,70]) werd in 1987 onderzocht door De Ridder [71]. Deze methoden werden gekozen omdat door deze drie reeksen het grootste deel van de voortgezet-onderwijs markt werd bestreken. De wijze waarop het begrip in deze methoden aan de orde komt, vertoont een duidelijke overeenstemming. Homeostase wordt opgevat als het vermogen van organismen om het interne milieu in een evenwichtige toestand te handhaven. Het begrip komt aan de orde in het kader van de menselijke fysiologie aan de hand van de temperatuurregulatie, de regeling van de bloedsuikerspiegel en bloedsamenstelling. De verstoring van evenwichtssituaties krijgt ruim aandacht op de niveaus van populatie en ecosysteem. Op organismeniveau wordt dit aspect slechts in een van de methoden aangestipt en in verband gebracht met ziek en gezond zijn.

In het begin van de negentiger jaren werd een vervolgonderzoek uitgevoerd, waarin ook de methoden Biologie voor jou [72] en Biologie overal [73] werden betrokken. Deze uitbreiding was nodig gezien het feit dat deze twee nieuwere methoden inmiddels -samen met (de nieuwere editie van) Kreutzer [74]- het grootste deel van de VWO-onderwijs-markt innamen.

In Biologie voor jou [72] komt het homeostase-concept in vergelijking met de andere methoden het meest uitvoerig aan de orde en wel aan het einde van het boek in Thema 9: Homeostase en bescherming. Het begrip homeostase heeft betrekking op een constant intern milieu, waarin verschillende factoren 'min of meer constant op een gunstige waarde worden gehouden. Deze waarde noemen we normwaarde. Door homeostatische regelmechanismen blijft de normwaarde van het interne milieu gehandhaafd'.

De regeling van de bloeddruk, van het bloed-glucosegehalte, en van de lichaamstemperatuur worden uitvoerig besproken; daarnaast wordt de werking en functie van nieren en lever behandeld. In dit hoofdstuk komen voorts de onderwerpen afweer, bloedtransfusie en bloedgroepen aan de orde.

In de teksten van Thema 9 wordt nauwelijks verband gelegd met de inhoud van Thema 2, Regeling, waarin de bouw en werking van het zenuwstelsel en van het hormoonstelsel aan de orde komen. Dit zou de indruk kunnen wekken dat er in geval van homeostase sprake is van een (heel andere) regeling die geen verband houdt of overeenkomst vertoont met de regelingen die in Thema 2 zijn besproken.

In Biologie overal [73] wordt homeostase omschreven als 'het verschijnsel dat bepaalde waarden schommelen rond een bepaalde norm'. Het begrip komt aan de orde in het kader van het hoofdstuk Gedrag, waarbij het begrip regelkring en feedback worden geïntroduceerd in verband met de uitwisseling van prikkels en hiermee samenhangende interacties tussen organismen. Aangegeven wordt dat 'Gedrag kan zorgen voor het herstel van de homeostase in het organisme. Dit is het inwendig doel van gedrag'. Aan het begrip worden in totaal slechts enkele korte passages gewijd. In een volgend hoofdstuk (H.8) wordt op de complexiteit van inwendige processen ingegaan; hierbij wordt gesproken over 'de balans in het interne milieu', maar komt het begrip homeostase niet aan de orde; een expliciete verwijzing of definitie ontbreekt hier.

In de nieuwere editie van Kreutzer Biologie [74] komt het begrip homeostase aan de orde in het kader van het hoofdstuk Voeding, opslag en uitscheiding. Homeostase wordt omschreven als het constant houden van het inwendig milieu. In de tekst wordt dit laatste op twee manieren 'verklaard': er wordt vermeld dat het inwendig milieu dankzij de activiteit van vooral de nieren een tamelijk constante samenstelling heeft (p.88) en dat de 'regeling van homeostase' tot stand komt door hormonen en dat de nieren en de lever hierbij een belangrijke rol spelen (p.109).

Leergangen in de Verenigde Staten

In het kader van het grote naoorlogse onderwijsvernieuwingproject in de Verenigde Staten, Biological Science Curriculum Studies (BSCS), is onderwijsmateriaal ontwikkeld dat o.m. resulteerde in een drietal verschillende leergangen (in het engels aangeduid als 'versions') [75,76,77]. De drie versies zijn alle gebaseerd op een vakinhoudelijk raamwerk van zeven basisthema's ('unifying themes'). Deze thema's fungeren als vakinhoudelijke rode draden en geven een typering van de wezenskenmerken van leven.

De thema's samen 'provide the most comprehensive and reliable knowledge of living things as they are known to modern biology'. De versies vertonen accentverschillen voor wat betreft de leerstofkeuze en leerstofordening.

Een van de basisthema's is het thema *Regulation and homeostasis*, wat mede het belang van deze thematiek onderstreept. Dit thema wordt in het BSCS-materiaal uitgewerkt in de context van 'the preservation of life in the face of change', wat betekent dat regulatie en homeostase worden gezien in functie van overleven en voortbestaan onder steeds wisselende omstandigheden.

Het begrip homeostase wordt in het BSCS-materiaal voornamelijk gebruikt als aanduiding van de 'balance maintained in the internal environment by various body processes'. Incidenteel is aangetroffen de aanduiding 'the homeostasis in an ecosystem'; uit de context blijkt dat hiermee een stabiele of evenwichtssituatie wordt aangeduid. Als voorbeelden van 'homeostatic mechanisms' bij organismen komen aan de orde: suikerspiegel, temperatuurregulatie, waterhuishouding, regeling van het zoutgehalte in het bloed, rol van de nieren, en ademhalingsregulatie.

In een aantal opdrachten, gericht op het ontwikkelen van denk- en onderzoeksvaardigheden, wordt ingegaan op diverse aspecten van het thema regulatie en homeostase, met name op verschillende vormen van regulatie en evenwichtshandhaving en de functie ervan.

Een belangrijk vernieuwingsaspect van het BSCS-project was de keuze van overkoepelende biologische principes en concepten als een raamwerk voor de selectie en ordening van onderwerpen. Buter [78] wijst op de didactische implicaties van deze keuze: de principes van regulatie en homeostase staan voorop en -uitgaande van een analyse van de gehele problematiek van regulatie en evenwicht rond een norm- worden vervolgens vakinhouden gekozen en geordend.

Door Ausubel [79] is -in het kader van een evaluatiestudie van de BSCS-benadering- opgemerkt dat het thema *Regulatie en homeostase* in geen van de drie versies als een rode draad naar voren komt; wel wordt -vaak aan het einde van de leergangen- het fundamentele belang van homeostase voor het (over)leven van organismen (in woorden) benadrukt, maar in het materiaal komt niet naar voren dat regulatie en homeostase tot de fundamentele kenmerken van cq. voorwaarden voor leven behoren.

Engelse leergangen

In het Engelse *Nuffield Biology*-materiaal op A(dvanced)-level, bestemd voor 16-18 jarigen, komt het homeostase-concept aan de orde in het kader van het thema *Control and co-ordination in organisms* [80]. Regulatieprocessen worden benaderd aan de hand van voorbeelden van de wisselwerking van organismen met hun omgeving, waarbij het begrip 'milieu interieur' een centrale plaats inneemt. Het begrip homeostase heeft betrekking op het handhaven van de constante samenstelling van lichaamsvloeistoffen bij (hogere) dieren. Op de centrale rol hierbij van de nier wordt uitvoerig ingegaan aan de hand van de bouw en functie van de nier bij zoogdieren.

Voorts komen de principes van homeostase aan de orde in aanvullend studiemateriaal, zgn. Topic Reviews, over *Control of Breathing* [81], *Circulation* [82] en *The*

Artificial Kidney [83]. Het begrip wordt hierin gedefiniëerd als 'the maintenance of steady states in organisms'. Benadrukt wordt dat homeostase berust op gecoördineerde fysiologische processen, en dat er bij homeostatische regulatiemechanismen sprake is van een speciaal type feedback systeem, dat wordt gekenmerkt door 'producing oscillations, normal and necessary for proper functioning'.

In het oorspronkelijke *Nuffield Biology*-materiaal op Ordinary-level, bedoeld voor 15-16 jarigen, komt het begrip homeostase binnen het thema *Living things in action* aan de orde in het hoofdstuk *Adjustment*, waar het gaat om 'the idea of maintaining steady or nearly-steady states in the body of an organism'[84]. Het begrip homeostase wordt geïntroduceerd als 'the collective name for such mechanisms'. Aan de hand van twee nauwkeurig uitgewerkte voorbeelden (lichaamstemperatuurregulatie en regeling van de ademhaling bij de mens) wordt de werking van een homeostatisch mechanisme geïllustreerd. In aansluiting hierop wordt in het hoofdstuk *An important 'adjustment' organ* de bouw en werking van de menselijke nier besproken, en wordt de nier aangeduid als 'a homeostat'.

In de grondig herziene versie *Revised Nuffield Biology* wordt het begrip homeostase-geïntroduceerd in verband met de warmtehuishouding en -regulatie bij vogels en zoogdieren [85]. Daarbij gaat de aandacht primair naar zaken als lichaamsmassa, -oppervlak en -temperatuur en de relatie daartussen. De (inwendige) regelmechanismen komen niet aan de orde, alleen uitwendige verschijnselen die met regulatie gepaard gaan. In een later hoofdstuk wordt het homeostase-concept verder uitgewerkt en wordt ingegaan op de functie van de nier in verband met het constant houden van het intern milieu. De regeling van het CO₂-gehalte in het bloed en van de lichaamstemperatuur worden geïllustreerd met behulp van regelkringschema's, waarbij 'homeostase' wordt gedefiniëerd als 'The maintenance of the internal steady states in an animal'.

Aanwijzingen voor de vakdidactische praktijk

In deze paragraaf worden de specifieke aanwijzingen besproken die in vakdidactische handboeken en tijdschriftartikelen zijn aangetroffen met het oog op de onderwijspraktijk, d.w.z. het geven van onderwijs over regulatie en homeostase.

In het BSCS Teachers Handbook [86], de zeer uitvoerige vakdidactische docentenhandleiding bij het BSCS-materiaal, wordt voor de introductie van het homeostase-concept gebruik gemaakt van een niet-biologisch, technisch voorbeeld. De werking van de kamerthermostaat -met als kernonderdeel de mechanische warmtesensor- wordt als opstap gebruikt om de 'factors, belonging to the idea of dynamic equilibrium' op te sporen, en vervolgens de 'major components of a homeostatic mechanism' te benoemen, te weten '1. A sensing mechanism, 2. A source of compensatory replenishment, 3. A means for compensatory subtraction'.

In het bekende handboek van Falk [87], dat nauw aansluit op de BSCS-filosofie, zijn merkwaardig genoeg geen specifieke aanwijzingen gevonden in verband met het onderwijzen van het thema Regulatie en homeostase.

Wel wordt -in het kader van een bespreking van de BSCS Unifying Themes- opgemerkt dat zo'n thema het raamwerk vormt voor 'facts, concepts and generalizations', waarbij de laatste term een zeer ruime betekenis heeft en kan wijzen op 'theories, principles, laws, rules, inferences or definitions'. Voorts wordt nog opgemerkt dat het onderwijzen van de thematiek die in de BSCS Unifying Themes aan de orde wordt gesteld zich moet uitstrekken over een lange periode, en dat een goed begrip ervan zeker niet in korte tijd kan worden gerealiseerd.

In de duitstalige literatuur hebben Hassenstein [88] en Schaefer [89] de cybernetische benadering van biologische regulatieprocessen vertaald naar het biologieonderwijs, waarbij met name door de laatstgenoemde auteur de gebruiksmogelijkheden van cybernetische modellen als didactisch hulpmiddel zijn uitgewerkt.

Met het oog op het onderwijs heeft Schaefer [90] -in de vorm van een schema- een beschrijvings- en verklaringsmodel ontwikkeld waarin de structuurelementen van een regelkring tot uitdrukking worden gebracht. Schaefer geeft aan dat dit model alleen bruikbaar is als representatie van biologische regelingen als bloedsuikerspiegel, bloeddruk en lichaamstemperatuur, dwz. regelingen die zich afspelen op organisme-niveau. Op het niveau van populatie en ecosysteem wordt voor het beschrijven en verklaren van de onderlinge beïnvloeding van organismen door Schaefer het gebruik van pijldiagrammen aanbevolen; het eerder genoemde regelkringmodel is hier minder bruikbaar wegens het ontbreken van een structuurelement als het regelcentrum (of Führungsglied).

In een commentaar op de benadering van Schaefer gaan Mostler *et al.* [91] in op het doortrekken van de cybernetische benadering als onderwijsprincipe naar het populatie- en oecosysteemniveau. Deze auteurs tekenen bezwaar aan tegen het gebruik van deze benadering op deze niveaus. In verband met het -ook al door Schaefer gesignaleerde- ontbreken van een aantal 'aanwijsbare' structuurelementen, die kenmerkend zijn voor fysiologische regulaties op organisme-niveau, merken deze auteurs over het gebruik van het begrip set-point het volgende op: 'Hinter der unkritischen Verwendung des Wortes "Sollwert" verbirgt sich recht häufig das Wünschen, Ökosysteme seien "technische Systeme" und dementsprechend technisch machbar'.

In een latere publikatie wordt door Schaefer [92] bepleit om het concept van regulatie in het onderwijs te benaderen als een biologisch systeemkenmerk. Dit houdt in dat regulatie betrekking heeft op de stoffen, de energie en de informatie die door een levend systeem en zijn omgeving worden uitgewisseld. In vervolg op het werk van Schaefer geeft Kattmann [93,94] -ook met het oog op gebruik in het onderwijs- een nadere typering van twee regulatietypen die kenmerkend zijn voor open systemen: het Fliessgleichgewicht (steady state) en het homöostatisch gesichertes Fliessgleichgewicht, en presenteert -in aansluiting op Schaefer- een nader uitgewerkt model voor het beschrijven en verklaren van homeostatische regulaties.

Kattmann [95] wijst -op een andere plaats- ook op mogelijke nadelen van het gebruik van cybernetische modellen in het onderwijs; het gebruik van deze modellen betekent volgens hem dat een 'schematisches Regelkreisdanken' wordt geïntroduceerd, waarbij biologische regulaties -met name op populatie- en ecosysteemniveau- zodanig worden vereenvoudigd dat daardoor dimensies als complexiteit en dynamiek van biologisch evenwicht wegvallen: 'Nicht ausgewogene Regelung und gesichertes Gleichgewicht, sondern ungesteuerte und unvorhersehbare Unregelmässigkeiten führen zur Stabilität von Ökosystemen', aldus Kattmann.

De aanwijzingen bij Eschenhagen *et al.* [96] over het gebruik van diagrammen en modellen van regelsystemen, zijn gebaseerd op het werk van Schaefer en Kattman. De opvattingen van Schaefer zijn ook terug te vinden in de IPN-Unterrichtseinheit *Biologisches Gleichgewicht* [97], waarin biologische regulatie wordt geplaatst in een systeemperspectief en benaderd aan de hand van cybernetische modellen. In de didactische verantwoording van deze Unterrichtseinheit wordt benadrukt dat systeem- en regelkringmodellen hulpmiddelen zijn om formeel te leren denken en om te communiceren over biologische regulatie.

Door Hedewig [98] is de lichaamstemperatuurregulatie bij de mens als voorbeeld van een homeostatische regulatie op organismeniveau uitgewerkt met het oog op gebruik in het secundair onderwijs. Deze auteur merkt op dat leerlingen zich in het algemeen niet bewust zijn van het normale functioneren van de temperatuurregulatie van het lichaam, dit in tegenstelling tot de situaties waarin sprake is van een afwijkend functioneren, zoals in geval van koorts. Voor Hedewig is dit een argument om in het voortgezet onderwijs gebruik te maken van het voorbeeld van koorts om het mechanisme van de lichaamstemperatuurregulatie aan de orde te stellen.

McKenna & Hand [99] merken in verband met het leren en onderwijzen van het homeostase-concept het volgende op: 'In order to comprehend the regulatory strategies that insure the stable internal environment of life-forms, students must have a thorough understanding of the concepts of diffusion and osmosis. While learning activities are distinct and may be arbitrarily chosen, the activities on diffusion and osmosis form a basis for any of the succeeding activities. In explaining to students the function of sophisticated regulatory systems, it is convenient to begin, as evolution did, with marine life and move on to terrestrial organisms'. De onderzoeksgegevens van Johnstone & Mahmoud [100] bevestigen dat de thematiek van diffusie en osmose zowel door (oudere) leerlingen als door docenten moeilijk wordt gevonden, waarbij met name genoemd worden de onderwerpen osmose, waterpotentiaal en -regulatie bij organismen.

Door Weiland [101] is voor schoolgebruik een aantal stofwisselingsexperimenten uitgewerkt waarbij regulatieverschijnselen en -processen worden onderzocht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van gistcellen als onderzoeksobject. Weiland gebruikt deze eencellige 'organismen' ter illustratie van de basiseigenschappen van open, biologische systemen. Weiland acht eencelligen zeer geschikt als voorbeeldobject voor het demonstreren en illustreren van de systeembenadering in het onderwijs.

Barrass [102] heeft onderzoek verricht naar de wijze waarop verschillende biologische begrippen in het onderwijs worden gebruikt. In verband met het gebruik van het begrip homeostase in Engelse (school)boeken stelt hij vast dat het begrip in twee betekenissen wordt gebruikt: als aanduiding voor het handhaven van een constant intern milieu en als aanduiding van een steady state (dynamische evenwichtssituatie). In verband hiermee bepleit Barrass om onderscheid te maken tussen 'homeostasis' (de dynamische evenwichtssituatie als gevolg van continue wisselwerking) en 'homeostatic mechanisms' (alle regelmechanismen die bijdragen aan het handhaven van de steady state).

3.3.3 Conclusies

De uitkomsten van het literatuuronderzoek naar het gebruik en de betekenis van het begrip homeostase in het secundair onderwijs leiden tot de volgende conclusies. In vrijwel alle binnen- en buitenlandse leergangen wordt het begrip homeostase omschreven in termen van een eigenschap van organismen.

In de Nederlandse schoolboeken overheerst de produktkant: daarbij ligt het accent op het voorkomen van evenwichtssituaties, en niet op de wijze waarop deze in stand worden gehouden. Deze proceskant krijgt weinig aandacht en precieze informatie over het verloop van regulatieprocessen is in deze schoolboeken slechts incidenteel aangetroffen. Naast gebruik op organisme-niveau wordt het begrip in een enkel geval gebruikt in verband met evenwichtssituaties in populaties, of met gedragingen van dieren. Het begrip wordt in deze boeken als een min of meer losstaand kenmerk of verschijnsel besproken.

In het Amerikaanse materiaal is de thematiek van regulatie en homeostase niet als een rode draad terug te vinden, zoals oorspronkelijk in de BSCS-filosofie wel werd beoogd. Ook hier wordt homeostase gepresenteerd in termen van een eigenschap van organismen. De proceskant wordt benaderd aan de hand van de principes van een regelkring, waarbij uitgegaan wordt van een technisch (c.q. niet-biologisch) voorbeeld.

In het Engelse materiaal wordt zowel aandacht besteed aan het biologisch belang van homeostase als aan de wijze waarop homeostase wordt bereikt. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van twee voorbeelden: de werking van de nieren en de regeling van de lichaamstemperatuur.

Samenvattend kan worden vastgesteld dat

- de omschrijvingen en het gebruik van het begrip homeostase in schoolboeken op hoofdlijnen overeenstemmen,
- in Nederlandse schoolboeken vrijwel geen aandacht wordt geschonken aan de regulatieproces-kant,
- het begrip voornamelijk wordt gebruikt in de context van de humane biologie ('menskunde'),

-het begrip geïllustreerd wordt aan de hand van voorbeelden, waarbij algemeen gebruik wordt gemaakt van temperatuurregulatie en daarnaast van voorbeelden als de regeling van de bloedsuikerspiegel en van andere componenten van het bloed, de regeling van de ademhaling en de werking van de nieren.

Uit het onderzoek van vakdidactische literatuur kwamen de volgende punten naar voren die van belang zijn voor de didactische praktijk.

Aanzetten voor een op een overkoepelende visie op leven gebaseerde benadering van het biologieonderwijs zijn weliswaar aanwezig in het BSCS-materiaal, maar zijn niet zichtbaar in een uitwerking van de thematiek van regulatie en homeostase.

In de duitstalige literatuur zijn gegevens gevonden voor een uitwerking van het thema regulatie op basis van een cybernetische benadering. Van belang hierin zijn met name de aanwijzingen voor het gebruik van regulatiemodellen, omdat daarmee wegen worden aangegeven om het proces van regulatie preciezer te beschrijven en te verklaren. Deze modellen vormen daarmee een belangrijk hulpmiddel om te communiceren over de proceskant van biologische regulaties.

Voorts komt als punt naar voren dat inzicht in de concepten diffusie en osmose als een voorwaarde wordt beschouwd voor kennisontwikkeling over biologische regulatie.

Het gebruik van de door Barrass [102] voorgestelde terminologie kan bijdragen aan een scherper begripsmatig onderscheid tussen de produkt- en proceskant van homeostase, waarop in § 3.2 werd ingegaan.

Referenties

- [1] Langley, L.L. (1966) *Homeostasis*. Chapman & Hall, London.
- [2] Goodfield, G.J. (1960) *The Growth of Scientific Physiology*. Hutchinson, London.
- [3] Adolph, E.F. (1961) *Early concepts of physiological regulations*. *Physiological Review*, 41, 737-70.
- [4] Leake, C.D. (1964) *Perspectives of adaptation: historical backgrounds*, in: D.B.Dill (ed.), *Handbook of Physiology, Section 4: Adaptation to the Environment*. Amer. Phys. Soc., Washington D.C.
- [5] Langley, L.L. (1973) *Homeostasis, Origins of the concept*. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Penn.
- [6] Holmes, F.L. (1969) *Joseph Barcroft and the fixity of the Internal Environment*. *Journal of History of Biology*, 2, 89-122.
- [7] Hardy, R.N. (1983) *Homeostasis*. Edw. Arnold, London.
- [8] Bernard, C. (1854) *Introduction de la Méthode*. *Le Moniteur des Hôpitaux*, 2, 409-410.
- [9] Bernard, C. (1859) *Leçons sur les Propriétés Physiologiques et des Altérations Pathologiques des Liquides de l'Organisme*. Vol.1, 1-27.
- [10] Bernard, C. (1879) *Leçons sur les Phénomènes de la Vie, Communs aux Animaux et aux Végétaux*, 66-124.
- [11] Cannon, W.B. (1926) *Physiological Regulation of Normal States: Some Tentative Postulates Concerning Biological Homeostasis*. In: A.Pettit (ed.) *A Charles Richet: ses amis, ses collègues, ses élèves, 22 Mai 1926*. Les Éditions Médicales, Paris
- [12] Cannon, W.B. (1929) *Organization for Physiological Homeostasis*. *Physiol. Rev.*, 9, 399-431.
- [13] Cannon, W.B. (1932) *The Wisdom of the Body*. Norton & Comp., New York.
- [14] Scheer, B.T. (1963) *Animal Physiology*. J. Wiley & Sons, New York.
- [15] Prosser, C.Ladd (1973) *Comparative Animal Physiology*, (3rd ed.). W.B. Saunders Comp., Philadelphia.
- [16] Eckert, R. & B.R.Randall (1978) *Animal Physiology*. Freeman & Comp., New York.
- [17] Bertalanffy, L. von (1972) *The Model of Open Systems: Beyond Molecular Biology*. In: A.D.Breck & W.Yourgrau, *Biology, History and Natural Philosophy*. Plenum Press, New York.
- [18] Bertalanffy, L. von (1968) *General System Theory*. Braziller, New York.
- [19] Waterman, T.H. (1962) *Revolution for Biology*. *American Scientist*, 50, 548-569.

- [20] Balfour Slonim, N. (1974) *Environmental Physiology*. Mosby Comp., St.Louis.
- [21] Phillips, J.G.(ed.) (1975) *Environmental Physiology*. Blackwell Sc. Publ., Oxford.
- [22] Bligh, J., J.L.Cloudsley-Thompson & A.G.MacDonald (eds.) (1976) *Environmental Physiology of Animals*.Blackwell Sc. Publ, Oxford.
- [23] Hill, R.W. (1976) *Comparative Physiology of Animals*. Harper & Row, New York.
- [24] Talbot, S.A. & U.Gessner (1973) *Systems Physiology*. J. Wiley & Sons, New York.
- [25] Toates, F.M. (1975) *Control Theory in Biology and Experimental Psychology*. Hutchinson Educational, London.
- [26] Cleffmann, G. (1979) *Stoffwechselphysiologie der Tiere*. Eugen Ulmer, Stuttgart.
- [27] Stewart, M. (ed.) (1991) *Animal Physiology*.The Open University / Hodder & Staughton, Sevenoaks, Kent.
- [28] Withers, P.C. (1992) *Comparative Animal Physiology*. Harcourt Brace Jovanovich, Orlando.
- [29] Schmidt-Nielsen, K. (1975) *Animal physiology*. Cambridge Univ.Press, London.
- [30] Vogel, S. (1992) *Vital Circuits*. Oxford University Press, New York.
- [31] Louw, G. (1993) *Physiological Animal Ecology*. Longman, Harlow.
- [32] Vaughn, L.K., H.A.Bernheim & M.J.Kluger (1974) *Fever in the lizard *Dipsosaurus dorsalis**. Nature 252, 473-474.
- [33] Kluger, M.J., D.H.Ringler & M.R.Anver (1975) *Fever and survival*. Science 188, 166-168.
- [34] Boorstein, S.M. & P.W.Ewald (1987) *Costs and benefits of behavioral fever in *Melanoplus sanguinipes* infected by *Nosema acridophagus**. Physiol.Zool. 60, 586-595.
- [35] Mitchell, D., H.P.Laburn, M.Matter & E.McCain (1990) *Fever in *Nomib* and other ectotherms*. Transvaal Museum Monograph, 7, 179-192.
- [36] Winterberg, D.H. & C.J.de Groot (1987) *Bestrijding van koorts als gevolg van infecties bij kinderen; zinvol of gevaarlijk?* Ned.Tijdschr.Geneesk. 131(44), 1959-1961.
- [37] Hardy, J.D. (1972) *Models of temperature regulation - a review*. In: J.Bligh & R.E.Moore (ed.) *Essays on temperature regulation*. North-Holland Publishing Comp., Amsterdam.
- [38] Hensel,H. (1952). *Physiologie der thermoreception*. Ergeb.Physiol. 47, 166.
- [39] Benzinger, T.H. (1959). *On physical heat regulation and the sense of temperature in man*. Proc. Nation.Acad.Sci. 45, 645.
- [40] Allee, W.C., A.E. Emerson, O. Park, T. Park & K.P. Schmidt (1949) *Principles of Animal Ecology*. W.B.Saunders Comp., Philadelphia.

- [41] Odum, E.P. (1959) *Fundamentals of ecology*. W.B.Saunders Comp., Philadelphia.
- [42] Wynne-Edwards, V.C. (1972) *Animal dispersion in relation to social behaviour*. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- [43] May, R.M. (1976) *Theoretical Ecology*. Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- [44] Krebs, C.J. (1972) *Ecology*. Harper & Row, New York.
- [45] Smith, R.L. (1980) *Ecology and Field Biology*. Harper & Row, New York.
- [46] Gray, J.A. (1987) *The psychology of fear and stress*. Cambridge Univ.Press, Cambridge.
- [47] Begon, M., J.L.Harper & C.R.Townsend (1990). *Ecology: individuals, populations and communities*. Blackwell Scientific Publications., Boston.
- [48] Andrewartha, H.G. & L.C. Birch (1954) *The Distribution and Abundance of Animals*. Univ. of Chicago Press, Chicago.
- [49] Engelberg, J. & L.L. Boyarsky (1979) *The noncybernetic nature of ecosystems*. American Naturalist, 114, 317-24.
- [50] Patten, B.C. & E.P. Odum (1981) *The cybernetic nature of ecosystems*. American Naturalist, 118, 886-95.
- [51] Hinde, R.A. (1970) *Animal Behaviour*. Mc. Graw-Hill, New York.
- [52] Manning, A. (1972) *An Introduction to Animal Behaviour*. Edw. Arnold, London.
- [53] Alcock, J. (1989) *Animal Behavior*. Sinauer Associates, Sunderland, Mass.
- [54] Wilson, E.O. (1976) *The Insect Societies*. Belknap Press, Cambridge, Mass.
- [55] Wheeler, W.M. (1911) *The ant-colony as an organism*. Journal of Morphology, 22, 307-25.
- [56] Sinott, E.W., L.C. Dunn & Th. Dobzhansky (1958) *Principles of genetics*. Mc. Graw-Hill, New York.
- [57] Strickberger, M.W. (1968) *Genetics*. Mc. Millan Comp., New York.
- [58] Bertalanffy, L. von (1962). *General system theory - a critical review*. In: Open Systems Group (ed.)(1981) *Systems Behaviour*, 3rd ed. Chapman Publ.Ltd., London.
- [59] Buhler, Ch. (1959). *Theoretical observations about life's basic tendencies*. Am.Journ. Psychother. 13, 501-581.
- [60] Lovelock, J.E. (1979). *Gaia: A new look at life on Earth*. Oxford University Press, Oxford.
- [61] Ayala, F.J. (1972) *The autonomy of biology as a natural science*. In: A.D.Breck & W. Yourgrau, *Biology, History and Natural Philosophy*. Plenum Press, New York.

- [62] Amen, R.D. (1966) *A Biological Systems Concept*, BioScience, 16,396-401.
- [63] Kuiper, W.A.J.M. (1993) *Curriculumvernieuwing en lespraktijk*. Disertatie. Enschedé.
- [64] Kamp, M.J.A. (1989) *Uit evenwicht. Woorom krijgt homeostase in het onderwijs niet de aandacht die het verdient ?* Bull.Onderw.Bio. 20 (122), 190-193.
- [65] Kreutzer, H.H. & A.A.G.Oskamp (1985) *Biologie 4V*. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- [66] Kreutzer, H.H. & A.A.G.Oskamp (1985) *Biologie 5V*. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- [67] Biezen, P.van, L.W.M.Bouwman, F.Heida, A.J.de Lijster, T.A.von Rudnay, R.Walsarie Wolff & N.M.Walsarie Wolff-Cox (1986) *Biologie 4V*. Versluys, Almere.
- [68] Biezen, P.van, L.W.M.Bouwman, F.Heida, A.J.de Lijster, T.A.von Rudnay, R.Walsarie Wolff & N.M.Walsarie Wolff-Cox (1986) *Biologie 5V*. Versluys, Almere.
- [69] Deinse-Brox, A.E.M.van & E.X.Maier (1982) *Exact Biologie 1*. Meulenhoff, Amsterdam.
- [70] Borghart, E., F.I.van der Heiden, G.P.M.Jansen & E.X.Maier (1982) *Exact Biologie 2*. Meulenhoff, Amsterdam.
- [71] Ridder, C.de (1987) *Homeostase. Een verkenning van een biologie-didaktisch onderzoeksthema*. Intern onderzoeksverslag Vakgroep Didactiek v.d. Biologie, Utrecht.
- [72] Smits, G. & B.Waas (1992) *Biologie voor jou 5H*. Malmberg, Den Bosch.
- [73] Boer, P., F.Lagerwaard-Fijten, U.P.Steenhuis & A.P.van der Zee (1993) *Biologie overal*. Educaboek, Houten.
- [74] Oskamp, A.A.G., A.W.H. van Bakkem & J.F.Groeman (1990) *Kreutzer Biologie voor bovenbouw VWO 5V*. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- [75] BSCS Green Version (1973) *An ecological approach*, 3rd ed. Rand McNally, Chicago.
- [76] BSCS Yellow Version (1968) *An inquiry into life*, 2nd ed. Harcourt, Brace & World, New York.
- [77] BSCS Blue Version (1968) *Molecules to man*, 2nd. ed. Houghton Mifflin, Boston.
- [78] Buter, E.M. (1971) *Didactiek van de biologie*. APS / Muusses, Purmerend.
- [79] Ausubel, D.P. (1966) *An Evaluation of the BSCS Approach to High School Biology*. Am.Biol.Teacher 28(3), 176-186.
- [80] Nuffield Advanced Science (1970) *Control and co-ordination in organisms*. Penguin Books, Harmondsworth.
- [81] Sands, M.K. (1970) *Control of breathing*. Nuffield Advanced Science Topic Review. Penguin Books, Harmondsworth.

- [82] Freeman, W.H. (1970) *Circulation*. Nuffield Advanced Science Topic Review. Penguin Books, Harmondsworth.
- [83] Sands, M.K. (1970) *The artificial kidney*. Nuffield Advanced Science Topic Review. Penguin Books, Harmondsworth.
- [84] Nuffield Biology (1971) *Living things in action*. Longman/Penguin Books, Harmondsworth.
- [85] Revised Nuffield Biology (1977) *Living things in action*. Longman, London.
- [86] Klinckmann, E.(ed.) (1970) *Biology Teachers' Handbook*. John Wiley, New York.
- [87] Falk, D.F. (1971) *Biology Teaching Methods*. John Wiley, New York.
- [88] Hassenstein, B. (1970) *Biologische Kybernetik*. Quelle & Meyer, Heidelberg
- [89] Schaefer, G. (1972) *Kybernetik und Biologie*. Metzler, Stuttgart.
- [90] Schaefer, G. (1972) *Probleme der Regelkreisdarstellung*. MNU 25(60), 321-326.
- [91] Mostler, G., D.Krumwiede & G.Meyer (1975) *Methodik und Didaktik des Biologieunterrichts*. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- [92] Schaefer, G. (1989) *Systems thinking in biology education*. Unesco, Paris.
- [93] Kattmann, U. (1980) *Fließgleichgewicht und Homöostase. Zur kybernetischen Beschreibung von Biosystemen*, teil 1. MNU 33(4), 202-209.
- [94] Kattmann, U. (1980) *Das homöostatisch gesicherte Fließgleichgewicht. Zur kybernetischen Beschreibung von Biosystemen*, teil 2. MNU 33(5), 283-289.
- [95] Kattmann, U.(1990) *Phänomen Regulation*. Unterricht Biologie 14 (158),4-13.
- [96] Eschenhagen, D., U.Kattmann & D.Rodi (1985) *Fachdidaktik Biologie*. Aulis, Köln.
- [97] IPN-Einheitenbank Biologie (1982) *Biologisches Gleichgewicht*. Aulis, Köln.
- [98] Hedewig, R.(1990) *Körpertemperatur und Fieber*. Unterricht Biologie 14 (158), 21-25.
- [99] McKenna, H.J.& M.Hand (1985) *A Guidebook for Teaching Biology*. Allyn & Bacon, Newton, MA.
- [100] Johnstone, A.H. & N.A.Mahmoud (1980) *Isolating topics of high perceived difficulty in school biology*. Journ. of Biol.Educ. 14(2), 163-166.
- [101] Weiland, A. (1990) *Die Hefe Saccharomyces cerevisiae (Bäckerhefe) ein idealer Organismus für die Schule ?* in: W.Killermann & L.Staack, *Methoden des Biologieunterrichts*. Aulis, Köln.
- [102] Barrass, R. (1984) *Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology*. Journ.of Biol.Educ. 18(3), 201-206.

4 VAKDIDACTISCHE VERKENNINGEN

4.1 Inleiding

De deelonderzoeken die hierna worden besproken, zijn uitgevoerd om gegevens te verzamelen die gebruikt kunnen worden bij het ontwerpen en uitwerken van een constructivistische didactische praktijk. In de omschrijving van de uitgangspunten voor deze praktijk (in § 2.3) kwam de cruciale positie van de *voorkennis van leerlingen* naar voren. In het licht van de beslispunten uit § 2.5 worden hierna drie deelonderzoeken gerapporteerd waarin de inhoud en het gebruik van voorkennis van en door leerlingen centraal staat.

Het eerste deelonderzoek betreft een literatuuronderzoek waarbij -ter voorbereiding van empirisch onderzoek- wordt nagegaan welke voorkennis-gegevens aangaande regulatie en homeostase in vakdidactische onderzoeksliteratuur worden gevonden (§ 4.2).

Vervolgens komen twee empirische deelonderzoeken (pilotstudies) aan de orde waarbij is geëxperimenteerd met concrete uitwerkingen van de uitgangspunten voor genoemde constructivistische didactische praktijk.

Gerapporteerd wordt eerst een pilotstudie aan de hand waarvan is onderzocht welke denkbeelden voorkomen bij leerlingen in Nederlandse scholen en waarin een procedure is getest waarbij deze leerlingen individueel reflecteren op hun voorkennis en daarmee verder werken (§ 4.3).

Daarna wordt een pilotstudie besproken aangaande een onderwijsexperiment met een sociale leeractiviteit, waarbij door een groep leerlingen -uitgaande van bepaalde gegevens- op basis van hun eigen denkbeelden een verklaringsmodel voor een specifieke regulatie wordt ontwikkeld (§ 4.4).

Aan het einde van dit hoofdstuk worden de uitkomsten van deze verkenningen samengevat met het oog op het ontwerpen van onderwijs over regulatie en homeostase (§ 4.5).

4.2 Verkenning van vakdidactische onderzoeksliteratuur

4.2.1 Doel en werkwijze

Ter voorbereiding van empirisch onderzoek naar voorkennis van leerlingen is nagegaan of in de vakdidactische onderzoeksliteratuur onderzoeksgegevens worden aangetroffen over leerlingendenkbeelden aangaande regulatie en homeostase en over (onderwijs)experimenten om deze voorkennis verder te ontwikkelen. Deze gegevens zijn verzameld met het oog op het opzetten en uitvoeren van een soortgelijk onderzoek in de Nederlandse situatie. Voor een eerste oriëntatie op de onderzoeksliteratuur betreffende voorkennis en begripsontwikkeling op het terrein van biologie en levenswetenschappen is gebruik gemaakt van de review-studies van Wandersee *et al* [1] en van Mintzes *et al.* [2]. Hierin worden geen verwijzingen aangetroffen naar onderzoek(sartikelen) waarin de thematiek van regulatie en homeostase aan de orde is. Een screening van het geautomatiseerde literatuurbestand ERIC leverde evenmin verwijzingen op naar onderwijs-studies over deze thematiek.

Een verdere verkenning van primaire literatuur leidde naar studies waarbij onderzoek is gedaan naar kennis die leerlingen hebben van bepaalde biologische begrippen, waaronder het begrip homeostase. In de betreffende artikelen werden wel gegevens gevonden over de inhoud van leerlingendenkbeelden en over methoden om deze denkbeelden op te sporen, maar niet over het verder ontwikkelen ervan.

4.2.2 Resultaten

Inhoud van leerlingendenkbeelden

Simpson & Marek [3] hebben 'misconceptionen' [A] bij leerlingen opgespoord met behulp van zgn. Concept Evaluation Statements (CESs): teksten met een gevalbeschrijving, gevolgd door opdrachten en vragen. Het doel van het onderzoek was om na te gaan in hoeverre leerlingen op grote en kleine 'high schools' in de Verenigde Staten het begrip homeostase -na onderwijs hierover- beheersten. De antwoorden van leerlingen werden beoordeeld door ze te vergelijken met een door deskundigen gevalideerde controletekst die als antwoordmodel diende en ze vervolgens te scoren als 'sound understanding, partial understanding, partial understanding with misunderstanding, complete misunderstanding, and no response'. Dit onderzoek richtte zich primair op het vergelijken van resultaten van twee verschillende school'typen', en bevat weinig gegevens over specifieke denkbeelden van leerlingen over regulatie en homeostase.

Westbrook & Marek [4] gebruikten dezelfde methode voor het opsporen van misconcepten bij een 'cross-age study' met als doel om na te gaan in hoeverre 'students in 7th-grade life science, 10th-grade biology, and college zoology' het begrip beheersten na onderwijs hierover. De antwoorden werden op dezelfde wijze beoordeeld en gescoord als in het eerdergenoemde onderzoek en werden daarnaast inhoudelijk geanalyseerd.

Uit dit onderzoek komen een aantal specifieke denkbeelden van leerlingen naar voren over de ademhaling, de bloedsomloop en de regeling van de lichaamstemperatuur bij de mens.

De auteurs onderscheiden de volgende categorieën van leerlingdenkbeelden in verband met het *constant blijven van de lichaamstemperatuur*:

1. Verandering van temperatuur is alleen gerelateerd aan ziekte;
2. De temperatuur verandert niet omdat wordt aangenomen dat deze niet door inspanning beïnvloed wordt;
3. De temperatuur verandert niet omdat warmte wordt afgegeven via zweten;
4. De temperatuur verandert of verandert niet door bloed of bloedvaten;
5. De temperatuur wordt bepaald door de omgevingstemperatuur;
6. Andere factoren beïnvloeden de temperatuur (restgroep).

In verband met *transpireren* werden de volgende categorieën onderscheiden:

1. Transpireren staat in verband met hogere hart- en/of ademhalingsfrequentie;
2. Transpireren is een middel om afval- of gifstoffen uit het lichaam te verwijderen;
3. Andere factoren staan in verband met zweten (restgroep).

Ook over *dorst* als element in het regulatieproces zijn uitspraken aangetroffen.

De auteurs concluderen dat voor het begrijpen van het concept homeostase inzicht nodig is in de deelprocessen en -elementen van een homeostatische regulatie, en dat leerlingen moeten kunnen denken in termen van een systeem ('the structured whole').

Methoden om leerlingdenkbeelden op te sporen en tot ontwikkeling te brengen

Hiervoor werd reeds beschreven welke methoden Simpson & Marek [3] en Westbrook & Marek [4] hebben gehanteerd voor het opsporen van leerlingdenkbeelden. Het ging hierbij om populaties met een omvang van 100-150 leerlingen. Als methode voor het verzamelen van gegevens maakten deze auteurs gebruik van teksten waarop door leerlingen schriftelijk gereageerd moest worden. In vervolg hierop moesten de leerlingen met hun eigen reacties verder werken. Deze schriftelijke leerlingreacties vormden het uitgangsmateriaal voor verder onderzoek.

Dreyfus *et al.* [5] hebben een procedure getest die werd aangeduid als 'Cognitive Conflict Strategy', en die gericht was op het bewerkstelligen van 'conceptual change' bij leerlingen van circa 16 jaar oud. Deze procedure is gebaseerd op de Conceptual Change Theory, die is besproken in het voorgaande hoofdstuk -in § 2.3.2.5- en waarbij een aantal kanttekeningen werd geplaatst.

In een van hun onderwijsexperimenten werd een bepaald denkbeeld aangaande de warmteregulatie van het menselijk lichaam aan de orde gesteld dat tijdens een voorverkenning bij veel leerlingen was gesignaleerd. Dit denkbeeld -in termen van deze auteurs een misconception- had betrekking op transpiratie en verdamping van water. Aan de leerlingen werd een stelling voorgelegd waarin dit denkbeeld was verwerkt en aan hen werd gevraagd hierop schriftelijk te reageren. Vervolgens werd een groepsdiscussie gehouden waaraan ook de onderzoekers zelf deelnamen. De onderzoekers kwamen tot de conclusie dat een voorbeeld bij leerlingen sterker appelleert naarmate zij er meer uit eigen ervaring op kunnen aansluiten.

Demastes & Wandersee [6] rapporteren over een onderwijsexperiment rond het thema 'thermoregulatie bij gewervelden'. De voorkennis van leerlingen werd als vertrekpunt van onderwijs gehanteerd, uitgaande van vragen over lichaamswarmte, lichaamstemperatuur en het constant blijven hiervan. De auteurs concluderen dat -ook gezien de bij leerlingen gebleken voorkennis- de gekozen inhoudelijke thematiek goed bruikbaar is voor een werkwijze met een sociaal-constructivistische inslag. De auteurs beschrijven deze in termen van discussie en onderhandeling tussen leerlingen waarbij -uitgaande van eigen voorkennis en met ondersteuning van de docent- gezocht wordt naar gezamenlijke verklaringen en oplossingen.

4.2.3 Discussie

Bij alle hiervoor gerapporteerde onderzoeken werden de gegevens verzameld in een experimentele situatie en werden methoden en materialen gebruikt die afwijken van reguliere onderwijssituaties. Daarom is de vraag aan de orde welk belang aan deze gegevens moet worden toegekend voor het opzetten van onderzoek in een reguliere onderwijssituatie.

Hashew [7] die een aantal studies op het gebied van begripsontwikkeling heeft geanalyseerd, wijst erop dat in deze studies het *opsporen* en *beschrijven* van de voorkennis van leerlingen centraal staat. Nagenoeg alle studies zijn beschrijvend van aard: de onderzoeksgegevens hebben betrekking op de aard en inhoud van denkbeelden van leerlingen, maar niet op mogelijkheden om deze verder *tot ontwikkeling te brengen*. Veelal worden in het verlengde hiervan -zo signaleert Hashew- wel aanbevelingen gedaan om te komen tot begripsontwikkeling maar deze zijn niet gebaseerd op onderzoeksresultaten. Hashew wijst er op dat de manier waarop het onderzoek naar begripsontwikkeling plaatsvindt, moet sporen met de uitgangspunten van de gevolgde onderwijsstrategie. In geval van onze verkenningen zou dit inhouden dat de wijze waarop gegevens over voorkennis en kennisontwikkeling bij leerlingen worden verkregen, moet passen in de beoogde constructivistische didactische praktijk, zoals die is getypeerd in hoofdstuk 2.

Driver [8] heeft de gemeenschappelijke kenmerken samengevat van een aantal constructivistische strategieën die in het onderwijs in de natuurwetenschappen worden gebruikt om kennis tot ontwikkeling te brengen en waarbij de (voor)kennis en de denkbeelden van leerlingen als aangrijpingspunt worden gebruikt. Deze kenmerken van deze strategie zijn:

- dat er mogelijkheden worden gecreëerd voor de leerlingen om hun denkbeelden over een bepaald onderwerp of verschijnsel te expliciteren,
- dat de leerlingen worden geconfronteerd met andere inzichten en worden uitgenodigd om deze te vergelijken met de eigen denkbeelden, en
- dat er mogelijkheden worden gecreëerd voor de leerlingen om zich bewust te worden van hun eigen leerproces, d.w.z. van de ontwikkeling en de veranderingen in hun eigen kennis. Met het oog op dit laatste worden -als werkwijzen om de leerlingen te leren reflecteren op het eigen leren- genoemd: het gebruik van concept maps, het

gebruik van persoonlijke logboeken en het inbouwen van mogelijkheden waarbij de leerlingen zelf hun kennis en denkbeelden voorafgaand aan en na afloop van een lessenreeks onder de loep nemen en vergelijken. In verband hiermee merken Driver & Easley [9] ook nog op dat -vanuit een constructivistisch perspectief- onderzoek naar voorkennis de leerlingen ruimte moet bieden om op hun eigen wijze uitdrukking te geven aan hun denkbeelden en dat deze denkbeelden vervolgens op hun eigen waarde moeten worden geschat. Dit type onderzoek wordt aangeduid als 'ideografisch', en sluit aan op de traditie in bijv. de culturele antropologie. In ditzelfde verband spreken Lythcott en Duschl [10] van de noodzaak 'for the researcher to allow as much freedom of expression as is possible for the child'.

Het voorgaande leidt tot de vraag hoe deze uitspraken zodanig geïnterpreteerd kunnen worden dat zo goed mogelijk recht wordt gedaan aan wat leerlingen bedoelen. Door Klaassen [11] wordt bepleit om de interpretatieproblematiek te benaderen vanuit een taal- en communicatieperspectief, waarin de grondhouding van de goede verstaander is gebaseerd op het -aan Davidson ontleende- principle of charity.

Samengevat komt dit erop neer dat de interpretator het doen en denken van de ander werkelijk serieus neemt en in zodanige vorm beschrijft dat 'we can see that what he did was the reasonable thing to do for him'. Deze grondhouding bij het interpreteren kan worden omschreven als het zien en aanvaarden van rationaliteit en intentionaliteit van de 'beliefs' van anderen, aldus deze auteur. In de benadering van Klaassen past dat onderzoeksgegevens worden verkregen aan de hand van een directe communicatie tussen lerende en interpretator/onderzoeker. Deze werkwijze lijkt vooral passend voor diepgaande verkenningen en analyses van denkbeelden van individuele leerlingen. Of deze benadering ook in aanmerking komt voor gebruik bij onderzoek waar het vooral gaat om het verzamelen van gegevens over de voorkennis in grotere populaties, zal afhangen van het oogmerk waarmee deze gegevens worden verzameld. Bij onderzoek naar leerlingreacties in een *grote* groep leerlingen (als indicator voor kennis op een bepaald tijdstip) lijken schriftelijke methoden van gegevensverzameling goed bruikbaar, terwijl voor het verkrijgen van een diepgaand inzicht in de (individuele) denkbeelden en de ontwikkeling daarvan de benadering van Klaassen adequaat lijkt.

4.2.4 Conclusies

In de onderzoeksliteratuur zijn slechts enkele studies gevonden waarin denkbeelden van leerlingen rond de thematiek van regulatie en homeostase aan de orde komen. Uit onderzoek van Simpson & Marek [3], Westbrook & Marek [4] en Demastes & Wandersee [6] bleek dat voorbeelden van regulatie in het menselijk lichaam -en met name dat van lichaamstemperatuurregulatie- een hoge respons en een breed scala aan reacties te zien geven. Dit vormt een aanwijzing voor de bruikbaarheid van deze thematiek als inhoudelijk onderzoeksthema. Met behulp van de methode die door Simpson & Marek [3] en Westbrook & Marek [4] is gebruikt voor het verzamelen van gegevens, worden tevens de leerlingreacties gegenereerd die als uitgangsmateriaal

kunnen fungeren om de leerlingen verder te laten werken met hun reacties .

Daarbij zijn voor de opzet en uitwerking van dit materiaal de aanwijzingen van Driver [8] en van Lythcott & Duschl [10] van belang: het materiaal moet zodanig worden opgezet dat de leerling de eigen kennis expliciteert, dat de leerling wordt geconfronteerd met andere inzichten en gegevens, en dat de leerling wordt uitgenodigd om aan de hand hiervan te reflecteren op de eerste, oorspronkelijke denkbeelden.

Vanuit onderzoeksoogpunt is het van belang dat deze schriftelijke procedure het mogelijk maakt om zowel de reacties van individuele leerlingen, als van een grote populatie te inventariseren, en daarnaast ook -door het analyseren van de vervolgreacties van de leerling(en)- de kennisontwikkeling te volgen. Daarmee wordt een onderzoeks-werkwijze gevolgd die kan sporen met de uitgangspunten voor de constructivistische didactische praktijk, zoals die zijn beschreven in § 2.3.2.4, en met de daaruit voortvloeiende activiteiten in de klas.

4.3 Pilotstudie naar voorkennis en kennisontwikkeling over ademhalings- en lichaamstemperatuurregulatie

4.3.1 Aanleiding en doel

Het onderzoek dat hierna wordt besproken, richt zich op de voorkennis van de individuele leerling die in § 2.3 is aangeduid als een cruciale factor in de constructivistische didactische praktijk. Deze pilotstudie komt voort uit de beslispunten die in § 2.5 zijn omschreven en is gericht op het verzamelen van gegevens over zowel de inhoud van de voorkennis als over gebruiksmogelijkheden ervan in de onderwijspraktijk.

Het doel van deze pilotstudie is driedelig: ten eerste om bij leerlingen aanwezige kennis over regulatie en homeostase te inventariseren, ten tweede om een onderwijsarrangement te verkennen waarbij leerlingen op deze voorkennis reflecteren en daarmee verder werken, en ten derde om de bruikbaarheid van de onderzoeksmethode te beproeven.

Voor het opzetten van deze pilotstudie heb ik ideeën ontleend aan het werk van Simpson & Marek [3] en van Westbrook & Marek [4], waarover in § 4.2 is gerapporteerd. Voor het inventariseren van de voorkennis is uitgegaan van het door deze auteurs ontwikkelde en beproefde *instrument*. Dit betekende dat het onderzoek naar voorkennis werd ingeperkt tot regulatieverschijnselen bij de mens en zich richtte op de *ademhalings- en -met name- de lichaamstemperatuurregulatie*.

De volgende overwegingen ondersteunen deze keuze:

- er wordt voorkennis onderzocht en verder ontwikkeld die is gebaseerd op eigen ervaringen: er mag verwacht worden dat leerlingen uit eigen ervaring kennis hebben van voorbeelden van regulatie die gepaard gaan met uitwendig waarneembare verschijnselen; deze keuze is gebaseerd op de overwegingen uit § 2.3.2.5,

- het gebruik van het 'menselijk lichaam' als context impliceert een oriëntatie op aspecten van gezondheid en welzijn die voor de leerling van persoonlijk belang (kunnen) zijn; hiermee wordt aangesloten op de pedagogische uitgangspunten die zijn omschreven in § 2.3.3, en op de strekking van het examenprogramma biologie zoals weergegeven in § 2.4 ,

- de lichaamstemperatuurregulatie bij de mens vertoont alle kenmerken van een homeostatische regulatie, zoals deze in § 3.2.2 is beschreven, en is ook daarom geschikt om als test- én onderwijsvoorbeeld te fungeren.

Om het tweede doel van dit deelonderzoek te realiseren werd het door genoemde auteurs ontwikkelde instrument uitgebreid met een gedeelte dat leerlingen uitnodigde om aan de hand van vervolgoopdrachten aan het werk te gaan met de eerder door hen gegeven antwoorden.

Om het derde doel te realiseren werd gebruik gemaakt van het als onderwijsmateriaal ontwikkelde werkboek. Dit diende zodoende ook als onderzoeksinstrument: dwz. dat het door leerlingen ingevulde werkboek de gegevens leverde ten behoeve van het onderzoek. De inhoud en opzet van het werkboek worden in de volgende paragraaf beschreven en toegelicht.

4.3.2 Onderzoeksvragen en onderzoeksinstrument

Met behulp van het hierna te beschrijven onderzoeksinstrument is een antwoord gezocht op de volgende *onderzoeksvragen*:

- welke voorkennis hebben leerlingen over lichaamstemperatuurregulatie ?
- tot welke commentaren op en/of herziening van de eerdere uitspraken leidt aangeboden nieuwe informatie ?
- welke oplossingen geven leerlingen voor een vervolprobleem over lichaamstemperatuurregulatie en wordt hierbij mede gebruik gemaakt van genoemde nieuwe informatie ?

Het *onderzoeksinstrument*, dat als bijlage 4-1 is opgenomen, heeft -zoals reeds aangegeven- de vorm van een werkboek en bestaat uit drie opeenvolgende onderdelen met teksten en opdrachten (A, B en C). De vorm van dit materiaal komt overeen met die van materialen die in het reguliere onderwijs gewoonlijk worden gebruikt en waarmee leerlingen derhalve gewend zijn te werken. De leerlingen wordt gevraagd om na lezing van de tekst de bijbehorende opdracht schriftelijk uit te werken.

Onderdeel A start met een tekst die overeenkomt met de (vertaalde) tekst bij Simpson & Marek [3] en Westbrook & Marek [4]. Hierin staat een atleet centraal die een medische keuring ondergaat. In het kader van deze keuring voert de atleet een inspanningsopdracht uit. In de tekst wordt beschreven wat er tijdens het onderzoek gebeurt met de hartslag, de ademhalingsfrequentie en de lichaamstemperatuur van de atleet. Nadat de leerlingen de gegevens hebben geordend, wordt hen gevraagd om verklaringen te geven voor

1. het *veranderen* van de hartslag- en ademhalingsfrequentie, en voor
2. het *niet-veranderen* van de lichaamstemperatuur.

In *onderdeel B* wordt leerlingen een modelschema voorgelegd van de temperatuurregulatie bij de mens. Dit schema is een vereenvoudigde weergave van een regelkring, waarin de belangrijkste structuren en processen worden benoemd die betrokken zijn bij de regeling van de lichaamstemperatuur. Ter illustratie van het feed-back mechanisme wordt gerefereerd aan de regeling van de kamertemperatuur. Aan de leerling wordt gevraagd om de bij onderdeel A gegeven antwoorden en verklaringen te vergelijken met dit schema, van commentaar te voorzien en de eerder gegeven antwoorden zonodig aan te vullen en/of te verbeteren.

In *onderdeel C* volgt een nieuwe casus waarin het verloop en de tragische afloop van de Zuidpoolexpeditie van Robert F. Scott in 1912 geschetst worden. Aan de leerling wordt gevraagd om een 'wetenschappelijke' verklaring te geven voor de dood van Scott en zijn mannen, en daarbij gebruik te maken van de nieuwe informatie die in onderdeel B is gegeven.

De procedure die door de leerling aan de hand van het werkboek wordt gevolgd omvat de elementen van de door Driver [8] beschreven constructivistische strategieën om kennis tot ontwikkeling te brengen, waarvan de kenmerken zijn omschreven § 4.2.3.

4.3.3 Onderzoekspopulatie en werkwijze

Door gebruik te maken van bestaande werkcontacten met docenten en scholen uit de regio Utrecht, konden onderzoeksgroepen worden geselecteerd. Als globaal criterium voor selectie gold daarbij dat het onderzoek een beeld zou moeten opleveren van voorkennis zoals die kan worden aangetroffen in doorsnee-klassen van het VWO. Met het oog op de keuze van de deelnemende klassen werd dit punt steeds expliciet besproken met de betreffende docent: vooraf werd nagegaan of er sprake was van een klas die door hem als een 'doorsnee-klas' werd gezien en waarvan een positieve attitude ten aanzien van het onderzoek kon worden verwacht. De onderzoeksgroep bestond uit 160 leerlingen uit de bovenbouw van twee scholen voor voortgezet onderwijs, verdeeld over zes deelgroepen: van beide scholen namen leerlingen deel uit 2 groepen (klassen) 4 VWO en 1 groep (klas) 5 VWO. Het onderzoek en het onderzoeksinstrument werden aan het begin van een lesuur van 50 minuten door de onderzoeker of de eigen biologie-docent steeds op dezelfde wijze in de deelnemende groepen geïntroduceerd. Hierbij werd de instructie die was afgedrukt op de voorzijde van het werkboek doorgenomen en werd toegelicht wat van de leerlingen werd verwacht. In alle groepen had de mondelinge toelichting dezelfde inhoud. In deze toelichting werd aan twee hoofdpunten aandacht geschonken: in de eerste plaats werd nauwkeurig uitgelegd hoe er met het werkboek gewerkt moest worden. In de tweede plaats werd er de nadruk op gelegd dat dit onderzoek losstond van peilingen van de kennis, zoals die in de betreffende school gebruikelijk zijn. Aangegeven werd dat de onderzoeker geïnteresseerd was in alle (serieuze) reacties van de leerlingen, en dat hen daarom werd gevraagd om uitvoerig en vrijelijk op te schrijven wat bij hen opkwam en dat hun antwoorden niet cijfermatige beoordeeld zouden worden.

Vervolgens gingen de leerlingen individueel aan het werk met teksten en opdrachten. Het merendeel van de leerlingen gebruikte hiervoor circa 30 minuten; het tijdstip van inleveren lag tussen 21 en 40 minuten na aanvang van het werk. Aangezien alle leerlingen het werk ruim voor het einde van het lesuur inleverden, mag worden aangenomen dat er voor iedere leerling voldoende tijd was om de opdrachten in eigen tempo uit te voeren.

4.3.4 Verwerking en analyse van de gegevens

De uitwerkingen van de opdrachten door de leerlingen werden uit de werkboeken overgenomen in overzichtsmatrices. Hierin werden in horizontale richting de opeenvolgende antwoorden van een leerling ingevuld, terwijl in verticale richting de namen van de deelnemende leerlingen werden geplaatst. Met behulp van de overzichtsmatrices was het mogelijk om in de *verticale kolommen* de *per opdracht* gegeven antwoorden te overzien en via de *horizontale regels* de *per leerling* gegeven antwoorden.

Bij de *analyse* van de gegevens *per opdracht* werd bij onderdeel A gelet op de trefwoorden die de leerlingen hanteerden en op de actiewerkwoorden die werden gebruikt om verbanden tussen deze trefwoorden aan te geven.

Bij onderdeel B werd gekeken naar de inhoud en de aard van het commentaar dat de leerlingen gaven op hun voorgaande antwoord en werd er op gelet of er sprake was van uitbreiding, dan wel wijziging hiervan.

De werkwijze bij onderdeel C kwam overeen met die bij onderdeel A. Daarnaast werd gekeken of en op welke wijze de leerlingen gebruik maakten van het schema uit onderdeel B.

Bij het analyseren van de gegevens werd gezocht naar omschrijvingen van overeenkomstige aard en inhoud, leidend tot een classificatie van antwoorden. Om de betrouwbaarheid van uitkomsten van de onderzoeksgegevens te vergroten werden classificaties en interpretaties aan twee mede-onderzoekers voorgelegd.

Onderlinge verschillen tussen de onderzoekers betreffende de classificatie van antwoorden deden zich voor in ca. 5% van de gevallen. In deze situaties werd in overleg tussen de onderzoekers een definitieve classificatie gekozen.

Aanvankelijk werden de uitkomsten per deelgroep (klas) geanalyseerd. Op grond van een vergelijking van de inhoudelijke reacties van de verschillende deelgroepen, alsmede van de frequentie waarin deze reacties per groep voorkwamen, kon worden vastgesteld dat er op beide punten tussen de verschillende groepen een grote mate van overeenkomst bestond, en dat op grond hiervan samenvoeging van uitkomsten verantwoord was. De uitkomsten van het onderzoek worden hierna dan ook voor de onderzoeksgroep als geheel gerapporteerd.

Tot dit laatste is ook besloten aangezien het onderzoek primair was gericht op het verkrijgen van een *overzicht van de voorkennis* bij leerlingen in de bovenbouw van het VWO, en niet bedoeld was om verschillen tussen groepen en/of scholen op te sporen.

4.3.5 Resultaten

De uitkomsten van het onderzoek worden achtereenvolgens per onderdeel (A, B & C) gerapporteerd. Bij onderdeel A wordt een typering van de voorkennis van de leerlingen gegeven aan de hand van de classificatie van de antwoorden met betrekking tot de aspecten ademhalings- en hartslagfrequentie en lichaamstemperatuur (regulatie).

Bij de onderdelen B en C wordt ingegaan op ontwikkeling van deze kennis en op de wijze waarop hierbij gebruik is gemaakt van het werkboek.

Onderdeel A

1. Ademhalings- en hartslagfrequentie

Bij de uitwerking van het *eerste deel* van de opdracht in onderdeel A gingen alle 160 leerlingen zonder uitzondering eerst in op de *veranderingen in de ademhalings- en hartslagfrequentie* die in de voorgelegde casus worden beschreven. Voor deze veranderingen geven leerlingen de volgende uitleg of verklaring:

- categorie 1: er wordt een verband aangegeven tussen toename van de ademhalings- en hartslagfrequentie en de *geleverde inspanning*,
- categorie 2: er wordt een verband aangegeven tussen de toename van de ademhalings- en hartslagfrequentie en het verbruik of de behoefte aan *energie*,
- categorie 3: er wordt een verband aangegeven tussen de toename van de ademhalings- en hartslagfrequentie en het *zuurstofverbruik*.

Een gemeenschappelijk kenmerk van vrijwel alle leerlingenantwoorden is dat in verband met de toename van de ademhalings- en hartslagfrequentie op een of andere wijze een verband wordt gelegd met *zuurstof*.

Categorie 1:

Een nadere analyse van antwoorden in deze categorie laat zien dat in deze reacties de geleverde inspanning als oorzaak of aanleiding wordt genoemd voor een toegenomen zuurstofbehoefte. Voorbeelden hiervan zijn:

- bij inspanning meer zuurstof nodig,
- na hardlopen is er zuurstoftekort, daardoor sneller ademen daardoor pompt hart sneller;

Categorie 2:

In veel antwoorden uit deze categorie wordt een rechtstreeks verband gesuggereerd tussen toegenomen energieverbruik of -behoefte en de toename van hartslag- en ademhalingsfrequentie:

- je verbruikt meer energie, hierdoor snellere bloedtoevoer → snellere hartslag → snellere ademhaling;
- er is meer energie nodig → hartfrequentie omhoog → ademhaling sneller;

In andere antwoorden wordt een verband gelegd tussen energieverbruik en zuurstofbehoefte:

- meer energieverbruik → voor verbruik meer O_2 nodig;

Categorie 3:

Hier gaat het om antwoorden waarbij een rechtstreeks verband wordt gelegd tussen de toename van hartslag- en ademhalingsfrequentie en een toegenomen behoefte aan zuurstof(transport).

In veel van deze antwoorden kan worden gelezen dat de *zuurstofbehoefte als oorzaak* van de toegenomen hart- en ademhalingsfrequentie wordt gezien, bijvoorbeeld:

-voldoen aan de vraag naar zuurstof in het lichaam.

In een groot deel van deze reacties wordt tevens iets gezegd over het aspect transport.

Voorbeelden hiervan zijn:

-er is meer zuurstof nodig, het bloed moet sneller door het lichaam stromen;

-het lichaam heeft meer bloed met zuurstof nodig dus stroomt het sneller;

-er moet meer en sneller zuurstof in je bloed komen, daarom sneller ademen;

Naast bovenvermelde antwoordtypen worden -bij sommige leerlingen- verklaringen aangetroffen waarin meerdere van de hiervoor genoemde aspecten met elkaar worden verbonden. In het volgende voorbeeld wordt de geleverde inspanning herbenoemd in termen van metabolische activiteit:

-bij hardlopen neemt de verbranding van voedingsstoffen toe → meer zuurstof nodig → ademhalingsfrequentie en hartslag nemen toe;

In sommige antwoorden wordt een direct verband gelegd tussen de zuurstof(transport)behoefte en de verhoogde activiteit van hart en longen:

-het hart beantwoordt de vraag aan O_2 en pompt harder;

-longen moeten meer O_2 opnemen en CO_2 afgeven, dus harder werken;

Er zijn ook enkele antwoorden gevonden waarin weliswaar lineaire verbanden worden gelegd tussen de verschillende verschijnselen, maar waarbij leerlingen een eigen causaliteit hanteren die afwijkt van gangbare wetenschappelijke verklaringen.

Voorbeelden hiervan zijn:

-het hart gaat sneller slaan doordat het bloed sneller door het lichaam gaat;

-door versnelde hartslag → snellere ademhaling;

Zoals reeds werd opgemerkt was in de reacties van vrijwel alle leerlingen sprake van zuurstof en werd slechts bij uitzondering ook CO_2 genoemd. De bestemming van de zuurstof werd door de meeste leerlingen niet of slechts globaal aangegeven; dit laatste wil zeggen dat dan over 'het lichaam' als bestemming werd gesproken. Slechts enkele leerlingen geven preciezere omschrijvingen, waarbij meestal als bestemming spieren worden genoemd, en een enkele keer de cel. Een voorbeeld hiervan is:

-spieren hebben meer zuurstof nodig, er moet meer CO_2 worden afgevoerd en meer O_2 -rijk bloed worden toegevoerd;

Slechts een enkele leerling legt bij dit deel van de opdracht al een verband tussen de toegenomen metabolische activiteit en de lichaamstemperatuur:

-het zweten is om de warmte die de spieren ontwikkelen weg te halen anders zou hij koorts hebben terwijl hij niet ziek is.

Voor het overige zijn geen uitspraken gevonden waarin verbanden worden gelegd tussen hartslag, ademhaling en lichaamstemperatuur.

Enkele leerlingen benadrukken zelfs expliciet dat tussen hartslag en ademhaling enerzijds en lichaamstemperatuur anderzijds geen verband bestaat, zoals bijvoorbeeld: -lichaamstemperatuur heeft hier niets mee te maken.

Discussie en conclusies

Uit de antwoorden kan worden opgemaakt dat nagenoeg alle leerlingen een samenhang zien tussen een verhoogde hartslag- en ademhalingsfrequentie en een verhoogde zuurstofbehoefte bij inspanning. Om deze samenhang uit te drukken gebruiken de meeste leerlingen redeneringen die causaal of finaal ('teleologisch') van karakter zijn. Een deel van de leerlingen geeft aan dat de geleverde inspanning en de daarmee verbonden energiebehoefte de oorzaak zijn van de toegenomen ademhalings- en hartslagfrequentie, een ander deel noemt de toegenomen zuurstofbehoefte als directe oorzaak.

Bij deze laatste verklaring moet worden aangetekend dat de feitelijke directe oorzaak de verhoogde CO_2 -concentratie is, die er tevens toe leidt dat er meer O_2 beschikbaar komt ten behoeve van het proces van energievrijmaking.

In de betreffende uitspraken van de leerlingen komt naar voren dat de hogere hartslag- en ademhalingsfrequenties een bepaald biologisch doel dienen en dat deze dus kunnen worden opgevat als aanzetten naar functionele verklaringen. In de antwoorden van de leerlingen werden geen redeneringen met een vitalistische inslag aangetroffen.

Uit slechts weinig antwoorden komt een meer gedetailleerde en genuanceerde kennis naar voren van de structuren en stoffen die een rol spelen: de bouw en werking van het bloedsomloopstelsel is slechts fragmentarisch aangeduid. Ook worden in de antwoorden -naast O_2 - vrijwel geen andere stoffen of structuren genoemd die een rol spelen bij de energiehuishouding. Slechts incidenteel is in de antwoorden ook sprake van CO_2 , en van spieren of cellen.

Geconcludeerd kan worden dat binnen deze onderzoeksgroep bij het grootste deel van de leerlingen redeneringen worden gevonden waarin de verhoogde ademhalings- en hartslagfrequentie worden toegeschreven aan de invloed van bepaalde factoren. Deze directe beïnvloeding wordt omschreven in termen van oorzaak en gevolg. Omschrijvingen waarin expliciet van regeling (in welke vorm dan ook) sprake is, zijn niet aangetroffen.

2. Lichaamstemperatuur (regulatie)

Het tweede deel van de opdracht in onderdeel A is niet door alle leerlingen uitgewerkt: over *lichaamstemperatuur of lichaamstemperatuurregulatie* wordt door 132 van de 160 leerlingen een uitspraak gedaan, bij 28 leerlingen zijn geen uitspraken over dit aspect aangetroffen.

Uit vrijwel alle uitspraken over lichaamstemperatuur komt naar voren dat leerlingen het niet-veranderen van de lichaamstemperatuur bij inspanning als een *vanzelfsprekendheid* beschouwen: ze vinden het 'gewoon' of 'noodzakelijk'. Voor slechts enkele leerlingen was dit geen vanzelfsprekendheid; deze deden uitspraken als:

- het verbaast me dat de lichaamstemperatuur niet verandert, want van hardlopen krijg je het warm
- de lichaamstemperatuur stijgt, maar dit wordt teniet gedaan door transpiratie

Bij de leerlingen die het niet-veranderen van de lichaamstemperatuur als een vanzelfsprekendheid zien, kan onderscheid worden gemaakt tussen twee categorieën van uitspraken:

- categorie 1: het constant blijven van de lichaamstemperatuur wordt aangeduid als een *kenmerk of eigenschap van het lichaam* ('kwaliteitsidee'),
- categorie 2: in het antwoord is een verwijzing naar *regeling* van de lichaamstemperatuur aanwezig ('regelingsidee').

Categorie 1:

Het *kwaliteitsidee* komt bij 36 (van 132) leerlingen naar voren, waarbij in veel van de reacties een verband wordt gelegd met gezondheid en/of gezond zijn. Voorbeelden hiervan zijn:

- de lichaamstemperatuur is constant omdat deze altijd hetzelfde moet zijn (anders ben je niet gezond)
- de lichaamstemperatuur verandert niet, want dat is niet goed voor het lichaam
- de lichaamstemperatuur stijgt alleen als je ziek wordt

Ook wordt het constant blijven van de lichaamstemperatuur door enkele leerlingen in verband gebracht met het kenmerk 'warmbloedigheid', bijvoorbeeld:

- de lichaamstemperatuur blijft gelijk want je bent warmbloedig

Categorie 2:

Het *idee van regeling* wordt in de antwoorden van 96 (van 132) leerlingen gevonden. In enkele van deze antwoorden is het idee van regeling aanwezig maar blijft het proces verder onbenoemd. Voorbeelden hiervan zijn:

- de lichaamstemperatuur wordt altijd constant gehouden
- je lichaamstemperatuur blijft gelijk omdat je lichaam ervoor zorgt dat je niet te warm of te koud wordt
- je lichaamstemperatuur wordt automatisch op 37° gehouden

In het grootste deel van de antwoorden wordt het idee van regeling expliciet vermeld en wordt vaak een oorzaak of aanleiding genoemd waardoor de lichaamstemperatuur gelijk wordt gehouden. In de antwoorden van 88 leerlingen wordt hierbij -op een of andere wijze- het aspect transpiratie betrokken. Voorbeelden hiervan zijn:

- je lichaamstemperatuur blijft constant door een soort regeling in het lichaam
- je lichaamstemperatuur blijft gelijk door een speciaal mechanisme in het lichaam
- de lichaamstemperatuur wordt voortdurend bijgesteld
- je lichaamstemperatuur verandert niet omdat er hevig getranspireerd wordt
- de lichaamstemperatuur blijft constant omdat dit geregeld wordt door zweten
- de lichaamstemperatuur blijft gelijk omdat je zweet en dan weer afkoelt

Discussie en conclusies

Uit de reacties op deze opdracht kan worden opgemaakt dat voor ca. 25% van de leerlingen het begrip constante lichaamstemperatuur inhoudt dat de lichaamstemperatuur een *vaste waarde* heeft die niet verandert, behalve in geval van ziekte. Veel van deze leerlingen geven aan dat *transpiratie de oorzaak is van het niet-veranderen van de lichaamstemperatuur*. Bij een deel van de leerlingen die het constant blijven van de lichaamstemperatuur als een kwaliteit van het lichaam aanduiden, worden uitspraken gevonden met een vitalistische inslag.

Voorts viel op dat in de reacties van veel leerlingen die verklaringen met een 'kwaliteits-idee' hanteren als het ware *van buitenaf* naar het 'gesloten' lichaam wordt gekeken. Deze reacties zouden aangeduid kunnen worden als *black-box concepten*. In deze reacties werden vaak 'waartoe'-uitspraken aangetroffen in tegenstelling tot 'waardoor'-uitspraken. Bij black-box concepten werd verandering van lichaamstemperatuur veelvuldig in verband gebracht met ziekte- en gezondheidsaspecten.

Bij de overige leerlingen is in veel antwoorden sprake van het *gelijk houden* of het *schommelen* van de lichaamstemperatuur, waarbij vaak wordt aangegeven dat transpiratie dient om een temperatuurstijging tegen te gaan. In deze antwoorden komt naar voren dat *het veranderen van de lichaamstemperatuur i.c. temperatuurstijging de oorzaak is van transpiratie*.

Geconcludeerd kan worden dat een deel van de leerlingen het constant blijven van de lichaamstemperatuur ziet als een 'feit' waarvoor geen oorzaak gegeven kan of hoeft te worden.

Bij het andere, grootste deel van de leerlingen zijn antwoorden gevonden waarin naar voren komt dat de lichaamstemperatuur niet per definitie constant is maar -op een of andere wijze- wordt beïnvloed. In deze antwoorden is een idee van regeling aanwezig, wat tot uitdrukking wordt gebracht met behulp van eenvoudige causale redeneringen. Verklaringen waarin leerlingen verwijzen naar aspecten van regulatie in het lichaam zouden aangeduid kunnen worden als *'glass-box concepten'*. Uitspraken waarin aan lichaamstemperatuurregulatie een biologische functie of doel wordt toegeschreven kwamen daarbij niet naar voren.

Onderdeel B

De opdracht in onderdeel B om met behulp van nieuwe informatie op de eerdere uitspraken te reflecteren leidde bij ca. 25 % van de leerlingen tot een aanvulling op of wijziging van het oorspronkelijke antwoord.

Ongeveer de helft van de leerlingen die in hun reactie bij A het constant blijven van de lichaamstemperatuur typeerden als een eigenschap van het lichaam neemt nu het regulatie-idee over. Enkele leerlingen gebruiken daarbij de term 'transpiratie'. Tevens geven enkele leerlingen nu expliciet aan dat de lichaamstemperatuur niet absoluut constant is, maar schommelingen kent. Ook wordt door sommige leerlingen gesignaleerd dat er verschillen kunnen optreden tussen de huid-temperatuur en de binnen-temperatuur. In de reacties van deze leerlingen ging het in het algemeen om bijstellingen en nuanceringen van de eerder gedane uitspraken. Door een aantal

leerlingen werd het bij onderdeel B gegeven schema op de voet gevolgd, of letterlijk gereproduceerd.

Circa 75% van de leerlingen gaf geen aanvullingen of verbeteringen, of was van mening dat het eerder gegeven antwoord (bij onderdeel A) aansloot op het gegeven schema (in onderdeel B).

Onderdeel C

De meeste leerlingen gaven naar aanleiding van de opdracht in onderdeel C één verklaring en gebruikten daarbij een of meer elementen uit het schema dat bij onderdeel B was gegeven. De redeneringen die werden gebruikt, waren vrijwel steeds causaal van aard, waarbij het onklaar raken van het temperatuurregulatiesysteem of van onderdelen ervan als oorzaak werd genoemd. Voorbeelden hiervan zijn:

- het regelsysteem werkte niet meer omdat het te koud was
- normwaarde verstoord als gevolg van wisselende temperatuur
- regelcentrum kon lage temperatuur niet aan
- sensoren beschadigd door kou
- sensors raakten bevroren, werkten niet meer

In het merendeel van deze antwoorden werd de uitschakeling van de huidsensoren als oorzaak genoemd.

In veel antwoorden is de dood van de poolreizigers op een of andere manier in verband gebracht met een (te) lage buitentemperatuur, maar slechts weinig leerlingen bleken bij het uitwerken van dit nieuwe probleem in staat om dit te benaderen als een temperatuurregulatieprobleem. Hierbij moet worden aangetekend dat uit veel antwoorden onbekendheid bleek met de geografische en klimatologische omstandigheden in het Zuidpoolgebied. Dit wordt geïllustreerd door de vele verwijzingen naar 'extreme omstandigheden' als oorzaak van de dood van de poolreizigers.

Voorbeelden hiervan zijn:

- op de heenweg werd het steeds kouder, veel energieverbruik; terug werd het steeds warmer: zweten, veel vochtverlies
- op de heenweg was het zomer
- als de temperaturen op de terugreis ineens stijgen, kan het lichaam zich niet aanpassen
- lichaam niet opgewassen tegen de hoge temperatuurverschillen

Veel leerlingen hebben zich kennelijk niet gerealiseerd dat Scott en zijn mannen al geruime tijd onder barre omstandigheden hadden geleefd en die hadden overleefd. De leerlingen legden geen verbinding met het optreden van een continue warmteproductie (als gevolg van metabolische activiteit), waardoor ook in deze situatie naandenlang een lichaamstemperatuur van 37° werd gerealiseerd. Extreme omstandigheden hoeven op zich geen aanleiding te zijn voor een verstoring van de temperatuurregulatie.

Naast bovengenoemde reacties werden ook verklaringen voor de dood van de poolreizigers aangetroffen die niet op de in onderdeel C gegeven tekst aansloten, en waarin sprake was van bijv. tekorten aan voedsel, reserves en energie, en onderkoeling.

Voorbeelden hiervan zijn:

- hadden niet genoeg voedsel (energie) om temperatuur te behouden
- verbruikten teveel energie
- geen vetverbranding, geen temperatuurregeling
- onderkoeling, lichaam kon het niet aan
- lichaam moet 'veel te veel' verbranden om temperatuur niet te laten dalen, is niet op te brengen
- ze hielden het lichaam niet warm door veel activiteiten
- niet voldoende beschermende kleding

Het is opvallend dat in de reacties van ca. 30% van de leerlingen bij deze opdracht gebruik werd gemaakt van de term 'lichaam'. Ondanks de aanwijzing om gebruik te maken van het bij onderdeel B gegeven model (in essentie een glass-box concept) bleven deze leerlingen toch black-box concepten hanteren.

Slechts enkele leerlingen geven (aanzetten tot) *meerdere* mogelijke verklaringen aan de hand van het model. Een voorbeeld hiervan is:

- mogelijkheden:
- lichaamstemp. was te laag geworden en niet meer te stabiliseren (naar 37°) (door niet goede kleding ?)
- sensors werkten niet meer (door onderkoeling ?)
- te lang in de kou gebleven → normwaarde werd vertraagd
- processen & activiteiten verliepen niet goed → de gewenste lich.temp.stijging werd niet verkregen

Ook probeerde een enkele leerling met behulp van het model een afweging te maken, zoals bijvoorbeeld:

- Onder het schema staat dat de huid temp.verlagingen registreert en binnenin het lichaam worden temp.verhogingen geregistreerd. I.h. schema staat dat de feed back de lich.temp. weer op de normwaarde brengt (37°C). Als je bevriest is dit laatste proces waarschijnlijk niet helemaal goed verlopen. Of moet ik er vanuit gaan dat je vanaf de huid verder naar binnen bevriest ? Ik kan dus geen echte wetenschappelijke verklaring geven. Daarvoor heb ik nog te weinig kennis en teveel vragen.

4.3.6 Discussie

Hierna wordt achtereenvolgens ingegaan op de drie aspecten waarover deze pilotstudie nadere gegevens moest opleveren: de voorkennis van leerlingen over regulatie en homeostase, de bruikbaarheid van het werkboek als (onderwijs) materiaal voor het bevorderen van de begripsontwikkeling, en de bruikbaarheid van dit werkboek als middel om onderzoeksgegevens te verzamelen.

Voorkennis

De uitkomsten van onderdeel A laten zien dat de opdrachten over het *constant blijven van de lichaamstemperatuur* bij minder leerlingen tot een respons leidden dan de opdrachten aangaande *veranderingen in ademhalings- en in hartslagfrequentie*. Dit kan samenhangen met het feit dat naar het constant blijven van de lichaamstemperatuur aan het eind van onderdeel A werd gevraagd. Niet nagegaan is -door het aanbieden van de opdrachten in omgekeerde volgorde- of er samenhang bestaat tussen het gesignaleerde verschil in respons en de volgorde van de opdrachten. De lagere respons in dit onderzoek op opdrachten over het constant blijven van de lichaamstemperatuur komt overigens overeen met de uitkomsten van het onderzoek van Simpson & Marek [3] en Westbrook & Marek [4].

Uit de reacties van leerlingen bleek dat de *ademhalings- en de hartslagfrequentie* vrijwel uitsluitend worden gerelateerd aan de *zuurstofbehoefte* van het lichaam. In veel antwoorden werd aangegeven dat ademhaling en hart(slag) in functie staan van andere onderdelen van het lichaam (organen, cellen). Deze functie bestaat uit het voldoen aan zuurstofbehoefte in het lichaam.

In verband met het constant blijven van de *lichaamstemperatuur* kwamen geen functionele verklaringen (of aanzetten daartoe) naar voren maar wel causale redeneringen met een vitalistische inslag. Het constant blijven van de lichaamstemperatuur wordt door veel leerlingen weliswaar aangeduid als iets noodzakelijks, maar niet onderkend wordt dat er een biologisch probleem moet worden opgelost indien bij inspanning warmte wordt geproduceerd wat tot een temperatuurverhoging van het lichaam leidt. Het lijkt aannemelijk dat in dit laatste geval geen problematisering is opgetreden doordat leerlingen geen kennis hadden van de biologische betekenis van regulatie d.w.z. de regeling van de lichaamstemperatuur niet als een continu fysiologisch 'belang' (onder)kenden.

Dit geldt ook voor verklaringen waarin het constant blijven van de lichaamstemperatuur als een kwaliteit van het lichaam wordt getypeerd, en waarbij een aantal uitspraken niet een vitalistische inslag is gevonden.

Dat leerlingen de hoogte van de lichaamstemperatuur veelal in verband brachten met ziekte en gezondheid kan samenhangen met het gegeven dat zij van jongsaf weten dat afwijkingen van de 'normale' temperatuur wijzen op 'ziek zijn'. De situering van de lichaamstemperatuur in een ziekte/gezondheids-context maakt ook uitspraken begrijpelijk waarin de 'noodzaak' van gezond blijven doorklinkt.

Voorbeelden van dit type uitspraken zijn:

- de temperatuur moet gelijk blijven
- de temperatuur verandert niet omdat het slecht is
- de temperatuur verandert niet omdat je niet ziek wordt
- als je niet ziek bent stijgt de temperatuur niet
- de temperatuur verandert niet anders heb je koorts

De uitspraken en denkbeelden van leerlingen die werden aangetroffen, komen overeen met de uitkomsten van de onderzoeken van Simpson & Marek [3] en van Westbrook en Marek [4]. Ook zijn er parallellen met de uitkomsten van de onderzoeken van Arnaudin & Mintzes [12,13]: uit onderzoek bij High-School-leerlingen van 17-18 jaar naar denkbeelden over de bloedsomloop bleek dat ca. 25 % van deze leerlingen gebruik maakte van verklaringen van vitalistische aard. Ook in dat onderzoek domineerde in de leerlingenantwoorden het zuurstoftransport als de belangrijkste functie die aan de bloedsomloop werd toegekend. Het voorgaande wijst er op dat er niet betrekking tot verschijnselen rond de regeling van ademhaling, hartslag en lichaamstemperatuur sprake is van overeenkomstige denkbeelden die op verschillende plaatsen ter wereld onafhankelijk van elkaar bij leerlingen worden aangetroffen [B].

Een vergelijking met uitkomsten van het onderzoek van Carey [14] laat zien dat er in verband met temperatuurregulatie in een aantal antwoorden sprake is van 'intentional causation': in de redenering klinkt door dat de constante lichaamstemperatuur een vooropgezet, specifiek doel dient. Hiervan werden enkele voorbeelden aangetroffen:

- de lichaamstemperatuur is constant om het lichaam niet te oververhitten
- de lichaamstemperatuur moet altijd hetzelfde zijn anders ben je niet gezond
- de lichaamstemperatuur moet op peil gehouden worden

Deze vorm van redeneren om de werking van de 'bodily machine' te verklaren, wordt in het onderzoek van Carey bij leerlingen van ca. 10 jaar en ouder niet meer aangetroffen, maar is vervangen door redeneringen 'in terms of the integrated functioning of internal body parts'. Slechts in een enkel geval werd van die laatste redenering in dit onderzoek een voorbeeld gevonden, bijv.:

- spieren hebben bij inspanning meer bloed/O₂ nodig, arbeid geeft meer warmte, deze wordt afgevoerd door transpireren

Het gesignaleerde verschil tussen ons onderzoek en dat van Carey hangt mogelijk samen met het feit dat het onderzoek van Carey zich primair richtte op denkbeelden over *interne* organen en de werking ervan, en dat een verschijnsel als temperatuurregulatie -waar het in dit onderzoek om ging- door leerlingen niet kan worden toegeschreven aan of in verband gebracht kan worden met de werking van specifieke organen. Een andere mogelijkheid is dat bij leerlingen van de hier onderzochte onderzoeksgroep maar beperkte kennis aanwezig is van het bovengenoemde geïntegreerd functioneren, wat wellicht voortkomt uit het ontbreken van deze benadering in het Nederlandse secundair voortgezet onderwijs. Een bevestiging hiervan wordt gevonden in het recente onderzoek van Roebertsen [15], dat werd uitgevoerd in een overeenkomstige onderzoeksgroep, nl. 4 en 5 HAVO en VWO.

Onderwijsarrangement en -materiaal

Aangezien werd beoogd om met behulp van de onderdelen B en C de kennis over temperatuurregulatie verder te ontwikkelen, is de vraag aan de orde in hoeverre dit onderwijsarrangement -uitgevoerd met behulp van het aan de leerlingen voorgelegde werkboek- daartoe heeft bijgedragen.

Onderdeel B bleek door minder leerlingen te zijn uitgevoerd dan A. Dit kan samenhangen met de aard van opdracht B: leerlingen hebben in het algemeen geen ervaring met reflectieopdrachten waarin gevraagd wordt om tot een inhoudelijke beoordeling en revisie van eerdere uitspraken te komen. De leerlingen die hiertoe wel een poging deden, gaven vaak antwoorden die aansloten op de aangeboden nieuwe tekst. Uit de antwoorden van een ander deel van de leerlingen kwam naar voren dat deze nu inzagen dat de temperatuurregulatie een proceskarakter heeft. Het voorgelegde schema kan hieraan hebben bijgedragen. De vorm van het schema in onderdeel B heeft er waarschijnlijk toe geleid dat vrijwel alle leerlingen het model alleen in de gebruikelijke leesrichting gebruikten. Mogelijk hebben leerlingen hierdoor de factor 'verandering van omgevingstemperatuur' niet in hun antwoorden betrokken.

Aangezien onderdeel C voor een deel aansluit op onderdeel B zijn de uitkomsten van onderdeel C mede beïnvloed door de problemen die reeds bij onderdeel B speelden: bij onderdeel C moest opnieuw het schema uit B worden gebruikt. De effectiviteit van de opdracht in onderdeel C was gering; dat wil zeggen dat slechts weinig leerlingen gebruik maakten van de voorgaande informatie. Hierbij speelt mogelijk een rol dat onderdeel C weliswaar ook betrekking had op de regeling van de lichaamstemperatuur, maar dat de problematiek zodanig was ingekleed en gesitueerd dat er mogelijk sprake was van transfer-problemen; leerlingen hadden duidelijk moeite om de gegevens en informatie uit de onderdelen A en B in te passen en toe te passen bij dit nieuwe voorbeeld.

Onderzoeksmethode

In verband met de methode van gegevensverzameling kan de vraag worden gesteld of de opdrachten in onderdeel A effectief waren om een beeld te krijgen van de voorkennis van leerlingen over lichaamstemperatuurregulatie.

De breedte en gevarieerde inhoud van de respons op deze opdrachten kunnen worden gezien als een aanwijzing dat deze bruikbaar waren om leerlingen hun (voor)kennis over bepaalde aspecten van regeling in het menselijk lichaam onder woorden te laten brengen. Een indicatie hiervoor was dat bij het toenemen van het aantal verwerkte en geanalyseerde antwoorden een verzadiging van de uitkomstenverzameling bleek op te treden: er werden naarmate de analyse vorderde geen uitspraken van leerlingen meer gevonden die niet eerder waren aangetroffen. Dit wijst erop dat binnen deze onderzoeksgroep de inventarisatie dekkend is geweest en er in die zin sprake is van een optimale respons. Achteraf blijkt onderdeel A de meeste en meest geschakeerde reacties te hebben opgeleverd. De opbrengst van de onderdelen B en C bleef hierbij duidelijk achter.

Daarnaast bestonden er duidelijke inhoudelijke parallellen tussen de respons van deze populatie en die van populaties in de Verenigde Staten, zoals bleek bij een vergelijking met de onderzoeksresultaten van Simpson & Marek [3], Westbrook en Marek [4] en Arnaudin & Mintzes [12, 13]. Het voorkomen van overeenkomstige denkbeelden die op verschillende plaatsen ter wereld onafhankelijk van elkaar bij leerlingen worden aangetroffen, kan mede als een aanwijzing worden gezien voor de geldigheid van de uitkomsten van het hier gerapporteerde onderzoek.

Bij de verwerking en analyse van de reacties van de leerlingen zijn deze ingedeeld in categorieën die afwijken van de categorieën die zijn gehanteerd in de hiervoor aangehaalde studies uit de Verenigde Staten. Met behulp van de in mijn onderzoek gekozen categorieën kon een duidelijker overzicht worden gegeven van leerlingreacties dan in genoemde buitenlandse studies en kon met name het onderscheid in ziens- en verklaringswijzen zichtbaar worden gemaakt. Een antwoordmodel zoals gebruikt in de Amerikaanse studies werd niet gehanteerd aangezien het in mijn onderzoek niet ging om de mate waarin antwoorden meer of minder correct waren.

Bij de analyse van de letterlijke teksten is ervan uitgegaan dat de leerlingen in deze teksten hun kennis en opvattingen nauwkeurig en serieus hebben weergegeven. Met

een betrekkelijk eenvoudige indeling van uitspraken is getracht tot uitdrukking te brengen hoe leerlingen kijken naar objecten en verschijnselen en daarover redeneren. Op de voor- en nadelen van deze aanpak werd reeds ingegaan in § 4.2.3. Het ontbreken van een verificatie van de gegeven interpretaties in termen van en door leerlingen blijft vanuit een oogpunt van betrouwbaarheid een zwak punt.

Dit aspect komt wel aan de orde in de pilotstudie die in vervolg op dit deelonderzoek wordt gerapporteerd (§ 4.4): in dit onderzoek vindt in dialoog met en door leerlingen een verificatie plaats van denkbeelden over temperatuurregulatie, waarbij ook de onderliggende inzichten en bedoelingen naar voren komen.

4.3.7 Conclusies

Voorkennis

Uit dit onderzoek is gebleken dat de leerlingen uit deze onderzoeksgroep uitspraken van verschillende aard doen over regulatie van lichaamsprocessen.

De hiervoor gerapporteerde gegevens wijzen er op dat leerlingen over denkbeelden beschikken die bepaald zijn door persoonlijke (lichaams)ervaringen op dit terrein.

Voor het veranderen van de ademhalings- en hartslagfrequentie worden oorzaken en verbanden gegeven, waarin het idee van regeling niet wordt aangetroffen.

Veel leerlingen zijn zich er wel van bewust dat er -in een of andere vorm- sprake is van regeling van de lichaamstemperatuur, maar dit wordt als iets vanzelfsprekends gezien. De biologische noodzaak tot regeling werd niet onderkend waardoor leerlingen regulatie niet kunnen zien als functie om de lichaamstemperatuur constant te houden. De lichaamstemperatuurregulatie kon door leerlingen dus niet worden benaderd vanuit een biologische probleemstelling.

Een deel van de leerlingen is zich er niet van bewust dat de lichaamstemperatuur wordt geregeld: zij zien het constant blijven ervan als een gegeven, waarbij geen bepaalde oorzaak wordt aangegeven. Door veel leerlingen wordt het constant blijven van lichaamstemperatuur direct verbonden met gezondheid; bij afwijkingen van de normaal-temperatuur werd gesproken van ziekte: een situatie die als slecht of bedreigend voor lichaam of gezondheid werd gezien.

Een deel van de leerlingen benaderde het (eigen) lichaam als een black-box. Dit kan samenhangen met het feit dat kinderen van jongsaf aan met deze benadering vertrouwd zijn, en dat een meer (zelf-)analytische benadering van verschijnselen en processen in het eigen lichaam ongewoon en onbekend voor hen is.

Onderwijsarrangement / -materiaal

Bij het gebruik van het werkboek als middel om kennisontwikkeling te stimuleren is een aantal problemen rond dit onderwijsarrangement naar voren gekomen. Deze kunnen worden toegeschreven aan onbekendheid van de leerlingen met de gevraagde procedure van reflectie op eigen inzichten en aan de inhoud en vormgeving van het voorgelegde schema (bij onderdeel B) en aan onvoldoende bekendheid met de context en de casus, die in anecdotische vorm aan de leerlingen werd voorgelegd (bij

onderdeel C). Deze problemen hebben het doel dat met het materiaal werd beoogd zeker ongunstig beïnvloed: slechts een deel van de leerlingen bleek in staat om nieuw aangeboden kennis te gebruiken bij het beoordelen van eigen denkbeelden over een concreet voorbeeld van temperatuurregulatie; dit bleek in nog mindere mate het geval bij een onbekend, in de tekst aangeboden voorbeeld.

Onderzoeksmethode

In verband met het gebruik van de door leerlingen ingevulde werkboeken als bron van onderzoeksgegevens kan worden vastgesteld dat voor het inventariseren van de leerlinguitspraken de in onderdeel A gebruikte gevalbeschrijving -evenals in andere onderzoeken [3,4]- ook in de Nederlandse situatie bruikbaar en effectief bleek.

De problemen die leerlingen hadden bij de onderdelen B en C (zie voorgaande alinea) hebben ook invloed gehad op het ter beschikking komen van onderzoeksgegevens: waar leerlingen moeilijk met de aangeboden informatie en opdrachten uit de voeten konden leidde dit tot fragmentarische reacties of non-respons.

4.4 Pilotstudie naar schemavorming over temperatuurregulatie

4.4.1 Aanleiding en doel

Het onderzoek dat hierna wordt besproken, heeft betrekking op een kleinschalig onderwijsexperiment gericht op het realiseren van een sociale leeractiviteit. Deze pilotstudie ligt in het verlengde van de beslispunten uit § 2.5 en is uitgevoerd om genoemd element van de beoogde constructivistische didactische praktijk uit te werken en te beproeven.

Het biologisch-inhoudelijke thema van de leeractiviteit werd gekozen in het verlengde van de uitkomsten van de pilotstudie die hiervoor werd besproken (§ 4.3). Hierbij kwam naar voren dat veel leerlingen temperatuurregulatie als iets vanzelfsprekends zien: de noodzaak tot regeling wordt door hen niet onderkend. Deze uitkomst vormde de aanleiding om als vakinhoudelijk thema dit aspect te kiezen.

Het doel van dit onderzoek is om te onderzoeken of leerlingen -in samenspraak met mede-leerlingen en docent- tot een biologische probleemstelling aangaande temperatuurregulatie kunnen komen (d.w.z. een vorm van expert practice beoefenen) en vervolgens een oplossing daarvan vorm geven in een gezamenlijk schema (d.w.z. conceptueel consensus bereiken).

Hiertoe werd een *onderwijsarrangement* opgezet waarbij door 3 leerlingen uit 4 VWO samen met een docent in groepsverband kon worden gewerkt aan het opstellen van een model van temperatuurregulatie dat bruikbaar zou zijn om het verloop van deze regulatie te beschrijven en te verklaren.

4.4.2 Opzet van het onderwijsarrangement en onderzoeksvragen

Voor het opzetten van deze sociale leeractiviteit is aansluiting gezocht bij de sociaal-culturele benadering van leren zoals Van Oers deze heeft uitgewerkt voor het ontwikkelen van het natuurwetenschappelijk denken en die is samengevat in § 2.3.2.3. Dit resulteerde in een onderwijsarrangement in de vorm van een *discursieve leeractiviteit*, dat wil zeggen dat docent en leerlingen -aan de hand van teksten- met elkaar in gesprek waren over verschijnselen met betrekking tot temperatuurregulatie. De leeractiviteit was als volgt opgezet. Tijdens de leeractiviteit werd achtereenvolgens gebruik gemaakt van drie teksten die alle in verband stonden met mogelijkheden van dieren om in zeer verschillende omgevingen te overleven. Iedere tekst werd afgesloten met een aantal vragen, bedoeld om leerlingen de overlevingsproblemen onder woorden te laten brengen en oplossingen of verklaringen te laten formuleren. Gestart werd met het gezamenlijk lezen van de inleidende tekst. De docent las de tekst voor met het oog op de standaardisatie van de aangeboden informatie; de leerlingen beschikten over deze tekst en konden meelesen. Na het gezamenlijk lezen van de eerste tekst werd hierop aan de hand van de vragen ingegaan. Iedere leerling kreeg vervolgens de opdracht om op kaartjes (tref)woorden te schrijven die voor het benoemen en oplossen van het probleem relevant werden geacht. Vervolgens werd de tweede tekst gezamenlijk gelezen en besproken. Na afloop hiervan maakten de leerlingen individueel hun eerste schema's. De derde tekst lazen de leerlingen zelfstandig. Tenslotte kregen de deelnemers een consensus-opdracht: er moest een gezamenlijk schema worden gemaakt, uitgaande van de individuele schema's.

De docent / groepsleider was door de onderzoeker grondig voorbereid op zijn rol tijdens de leeractiviteit. Hij vervulde als mede-groepsleid functies die erop gericht waren om de samenspraak tussen de deelnemers te verhelderen en te verdiepen. Dit betekende dat de docent in eerste instantie een procedurerol vervulde, waarbij de leerlingen gestimuleerd werden om hun kennis en ideeën zo goed mogelijk aan de anderen uit te leggen, om vragen ter verheldering aan elkaar te stellen, om probleemstellingen en hypothesen te formuleren, en om mogelijke oplossingen te formuleren en deze op houdbaarheid te toetsen. Tijdens de procedure was er steeds gelegenheid om vragen te stellen. Deze vragen werden in de groep besproken en uitgediept door het stellen van vervolgvragen waardoor leerlingen werden aangezet om verder te denken. Extra inhoudelijke informatie werd alleen gegeven op verzoek van de leerlingen, of als bleek dat noodzakelijke informatie ontbrak.

Het was de bedoeling dat naarmate de procedure vorderde genoemde procedurefuncties meer en meer door de leerlingen vervuld zouden worden en dat de docent tijdens het laatste onderdeel -letterlijk- zou zijn teruggetreden en dus niet meer deelnam aan het gesprek. Uiteindelijk zou er sprake moeten zijn van een 'wetenschappelijke discussie', dat wil zeggen een gesprek waarbij de groep zelfstandig werkt aan het verkennen, beargumenteren en testen van de houdbaarheid van uitspraken.

Tijdens de leeractiviteit zijn antwoorden gezocht op de volgende *onderzoeksvragen*:

- leidt de leeractiviteit tot discussies tussen de leerlingen, waarbij inzichten meningen en oplossingen worden beargumenteerd en gewogen ?
- functioneert de leerlingengroep in het verloop van de leeractiviteit in toenemende mate als zelfstandige discussiegroep, waarbij de docent/proefleider is teruggetreden ?
- welke uitspraken worden tijdens de leeractiviteit door de leerlingen gedaan over temperatuurregulatie ?
- welke schema's worden ontwikkeld ter visualisering en ondersteuning van deze uitspraken ?

De eerste twee onderzoeksvragen hebben betrekking op de sociale dimensie van de leeractiviteit: gelet wordt op het procesverloop t.a.v. de expert-practice en het bereiken van de conceptual consensus. Gegevens hierover worden tevens verkregen aan de hand van de laatste twee onderzoeksvragen over de biologische inhoudelijke dimensies van de leeractiviteit.

4.4.3 Onderzoekspopulatie en -verloop

De *deelnemers* aan dit onderzoek waren afkomstig van een school die ook betrokken was bij de pilotstudie die is beschreven in § 4.3. Dit vervolgonderzoek werd echter op een later tijdstip uitgevoerd; de deelnemende leerlingen waren afkomstig uit een volgend cohort. Een van de redenen om leerlingen van deze school aan het onderzoek te laten meewerken, was de informatie van de biologiedocenten van deze school dat hun leerlingen tot in klas 6 VWO gebruik blijven maken van de termen 'warm-' en 'koudbloedig' als verklaring voor de wijze van temperatuurregulatie. Dit ondanks het feit dat reeds in de onderbouw het gebruik van deze termen uitdrukkelijk werd vermeden en werd getracht om regulatie te plaatsen in het perspectief van het 'omgaan met energie door een organisme', aldus de mondelinge mededeling van genoemde docenten.

Met hulp van de docenten werden *twee groepen van drie leerlingen* gevormd, afkomstig uit klas 4 VWO. Bij de selectie van deze leerlingen werd erop gelet dat ze zonder aarzeling bereid waren om aan het onderzoek mee te doen, dat ze in staat zouden zijn om hun gedachten onder woorden te brengen en dat ze bereid waren om deze in te brengen in een groepsgespek. Voorts werden -op basis van gegevens en advies van de docenten- leerlingen gekozen met een gemiddelde interesse en gemiddelde score voor het vak biologie. Beide groepen bestonden uit 2 meisjes en 1 jongen.

De leerlingen van *groep 1*, afkomstig uit de 4 VWO-klas met exact pakket, meldten na afloop desgevraagd een tweetal motieven voor deelname aan het experiment: hulpvaardigheid naar de onderzoeker en nieuwsgierigheid naar het verloop van het onderzoek. Biologie werd een leuk vak gevonden waarin interessante zaken aan de orde komen.

De leerlingen van groep 2 waren afkomstig uit de 4 VWO-klas zonder exact pakket. Bij deze leerlingen was vooral hulpvaardigheid een motief voor deelname. Deze leerlingen vonden het vak biologie wel aardig, met name onderwerpen als ziekte en gezondheid; andere onderwerpen vonden ze moeilijk en niet leuk.

4.4.4 Verzameling, verwerking en analyse van onderzoeksgegevens

Om onderzoeksgegevens te verzamelen zijn van de uitvoering van beide onderwijsexperimenten beeld- en geluidsopnamen gemaakt en is er geobserveerd. Voorafgaand aan de leeractiviteit is in beide groepen de aanwezigheid van de observanten en van audio-visuele opname apparatuur toegelicht.

De beeld- en geluidsopnamen zijn gebruikt voor het opstellen van een protocol over het verloop van de gesprekken in de groepen. Aanvullende gegevens werden verkregen van twee observanten die als opdracht hadden om te letten op het gedrag en taalgebruik van de leerlingen en de proefleider/docent. Voorts was informatie -ook achteraf- beschikbaar in de vorm van het schriftelijke materiaal (notities, kaartjes met termen, schema's) van leerlingen.

Aan de hand van bovengenoemde bronnen en gegevens is een analyse gemaakt van het verloop van het onderwijsexperiment. Daarbij is nagegaan welke rollen (functies) de verschillende deelnemers aan de activiteit vervulden. Met name waren daarbij aandachtspunten in hoeverre een functie gedragen werd door de proefleider dan wel door de leerlingen en de wijze waarop dat in de loop van de activiteit eventueel verandert. Voorts is de aard en inhoud geanalyseerd van de uitspraken van leerlingen, hun individuele schema's en het gezamenlijke eindschema .

4.4.5 Resultaten

Per onderzoeksgroep wordt hierna -ter beantwoording van de onderzoeksvragen- eerst het procesverloop besproken en wordt vervolgens ingegaan op de biologisch-inhoudelijke dimensies die aan de orde kwamen.

Procesverloop

Bij groep 1 werd tijdens de leeractiviteit in toenemende mate zelfstandig gewerkt als groep. In deze groep is vanaf het begin het besef aanwezig dat temperatuurregulatie een biologische functie heeft en komt een gesprek vanuit een biologische probleemstelling op gang met de introductie van de grafiek over de activiteit en het dagritme van de woestijnvos. Met name vanaf dit moment is er in deze groep in toenemende mate sprake van een 'wetenschappelijke' discussie in de zin zoals in § 4.4.2 omschreven. Deze groep nam dus in de loop van de leeractiviteit steeds meer verantwoordelijkheid voor de gang van zaken en maakte steeds minder gebruik van de diensten van de docent.

Bij groep 2 was een andere ontwikkeling te zien. Hier bleef de groep in sterke mate afhankelijk van de initiatieven van de docent. Dit hing waarschijnlijk vooral samen

met het feit dat de leerlingen in deze groep grote moeite hadden met het problematiseren van verschijnselen rond temperatuurregulatie. De stap om over temperatuurregulatie te gaan denken in termen van 'een oplossing voor een probleem' werd in deze groep niet gemaakt. Deze groep is langdurig op zoek geweest naar het probleem en niet toegekomen aan het via een wetenschappelijke discussie opstellen van een gemeenschappelijk schema voor temperatuurregulatie.

Samenvattend lijkt het dat het procesverloop in belangrijke mate is bepaald door het al dan niet bereiken van een heldere, eenduidige probleemomschrijving: toen in groep 2 geen gemeenschappelijk zicht op de biologische problematiek ontstond, bleef deze groep in sterke mate afhankelijk van de proefleider en werden geen verklaringen of oplossingswegen gevonden (eerste en tweede onderzoeksvraag).

Biologisch-inhoudelijke dimensies

De biologisch-inhoudelijke uitspraken over temperatuurregulatie (derde onderzoeksvraag) vielen in groep 1 binnen het kader van de gezamenlijke oriëntatie op het probleem, waaraan in deze groep taakgericht werd samengewerkt. Een overzicht van de door deze leerlingen gehanteerde termen, van de individuele uitspraken over temperatuurregulatie, en van de individuele schema's is opgenomen als bijlage (Bijlage 4-2).

In groep 1 bleek dat de voortgang van het onderlinge gesprek werd geremd doordat over het verband tussen voedselopname, verbranding, spieractiviteit en warmteproductie tussen de leerlingen onderling geen helderheid bestond en doordat met name de noodzaak om overvloedige warmte af te voeren niet door leerlingen werd onderkend.

De leerlingen zagen wel in dat zowel de fluctuerende omgevingstemperatuur als de metabolische warmte variabelen zijn die (mede) een rol spelen bij het handhaven van een constante lichaamstemperatuur, maar legden geen verband tussen de (basaal)metabolische activiteit van het lichaam en de noodzaak om de hierbij vrijkomende warmte af te voeren. Wel kwam in de loop van het gesprek voor hen vast te staan dat ieder dier zowel warmte kwijt moet raken als warmte vast moet houden. In het schema dat in overleg door deze groep is opgesteld komt dit aspect duidelijk tot uiting (Afb.4.1). De tekst bij het schema is de mondelinge uitleg die na afronding van het schema door een leerling is gegeven namens de groep, en waarmee de twee anderen instemden.

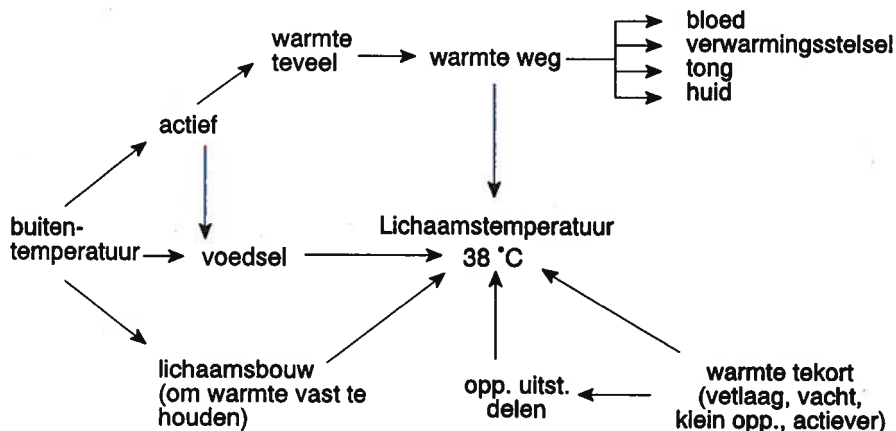
In groep 2 werden veel uitspraken en redeneringen gevonden die betrekking hadden op direct waarneembare verschijnselen. In deze groep ontbrak kennis over bouw en functie van inwendige structuren en stelsels: bij termen als bloedsomloop en vertering was de reactie van de leerlingen: 'daar kan ik me niets bij voorstellen'. Eigen ervaringen werden in deze groep regelmatig aangehaald en als voorbeeld gebruikt: 'als je voedsel nodig hebt om warm te blijven dan is gevarieerd eten met veel vitamines een bijdrage aan de temperatuurregulatie'. De eigen ervaringen werden gebruikt als illustratie of verduidelijking van de aangeboden informatie, of werden hiermee vergeleken.

In deze groep werden uitspraken gedaan over lichaamstemperatuur en koorts die overeenkomen met uitspraken van leerlingen hierover in de pilotstudie die in § 4.3 is gerapporteerd. Een voorbeeld hiervan is:

- verhoging van de lichaamstemperatuur (bij activiteit) betekent ziek worden, als we ziek worden krijgen we ook temperatuursverhoging'.

Tegen het einde van het experiment werd in deze groep onder 'activiteit' *zichtbare* inspanning verstaan waarbij warmte vrijkomt. Er bestaat grote onduidelijkheid en onzekerheid over begrippen als energie, verbranding en inspanning. Deze leerlingen hebben hier -letterlijk- nauwelijks woorden voor. De door deze leerlingen gebruikte termen, de individuele uitspraken en de individuele schema's zijn opgenomen in een bijlage (Bijlage 4-3).

Afb.4.1 / Schema van temperatuurregulatie, opgesteld door leerlingen van groep 1



De tekst bij het laatste schema:

je hebt activiteit, voedsel en lichaamsbouw en activiteit en lichaamsbouw beïnvloeden de lichaamstemperatuur en de lichaamstemperatuur is of te veel warmte en dat kan je dan kwijtraken en dan is de lichaamstemperatuur 38°C of je hebt te weinig warmte en die kan je dan veranderen door die lichaamsbouw, door die vetlaag en zo en dan krijg je ook de temperatuur en zo is die goed hoop ik (vraag aan beide andere leerlingen) Deze antwoorden beide met: ja

4.4.6 Conclusies

Concluderend kan worden gesteld dat bij dit onderwijsexperiment van beperkte omvang -dat werd uitgevoerd met twee groepen van drie leerlingen- één groep in staat bleek een schema te ontwikkelen waarvan alle groepsleden vinden dat daarmee het verschijnsel constante lichaamstemperatuur verklaard kan worden, terwijl in een andere groep deze consensussituatie niet is bereikt. Dit verschil is in verband gebracht met verschillen in procesverloop, die weer samen kunnen hangen met verschillen in biologische (voor)kennis en probleeminzicht.

In dit experiment werd duidelijk dat voor het ontwikkelen van een 'wetenschappelijk' gesprek over de functie van temperatuurregulatie een gezamenlijke oriëntatie op de problematiek een voorwaarde is. Zo kwam naar voren dat pas als leerlingen de temperatuurregulatie kunnen verbinden met de interne en externe factoren die in de warmtehuishouding een rol spelen, ze temperatuurregulatie kunnen benoemen als noodzaak of functie. Dit experiment lijkt er op te wijzen dat kennis van energiehuishouding en met name van het basaalmetabolisme een voorwaarde is om in deze zin over problemen van temperatuurregulatie te kunnen communiceren en nadenken. Het bereiken van een fase van wetenschappelijke discussie en consensus tussen de leerlingen onderling lijkt in een groep voornamelijk te zijn verhinderd door het ontbreken van een gezamenlijk zicht op de biologische problematiek. Dit betekende tevens dat deze groep een sterk beroep bleef doen op de docent/proefleider.

4.5 Samenvatting

De gegevens en conclusies die uit de deelonderzoeken naar voren zijn gekomen, worden hierna samengevat in de vorm van aanwijzingen voor het ontwerpen van onderwijs over de thematiek van regulatie en homeostase.

De *pilotstudie naar voorkennis en kennisontwikkeling over ademhalings- en lichaamstemperatuurregulatie* (§ 4.3) heeft inzicht gegeven in ideeën die leerlingen hebben over verschijnselen van regulatie in het eigen lichaam. Een belangrijke aanwijzing voor het ontwerpen van onderwijs over dit thema is dat leerlingen wel (directe, causale) verbanden kunnen leggen tussen bepaalde uitwendige verschijnselen van regulatie, maar dat preciezere (voor)kennis over de werking of biologische functie van regulatie ontbreekt; hierop kan dus geen beroep worden gedaan. Voorts bleek ook hier dat -evenals in Amerikaans empirisch onderzoek- het voorbeeld van lichaamstemperatuurregulatie effectief was om de voorkennis van leerlingen te inventariseren. Dit verschijnsel werd door veel leerlingen in een ziekte-/gezondheidscontext geplaatst. Tevens bleek daarbij dat een zgn. glass-box benadering van eigen lichaamservaringen voor sommige leerlingen onbekend is.

Uit het onderzoek naar het gebruik van het werkboek als middel om kennisontwikkeling te bevorderen, kon worden opgemaakt dat duidelijke, stapgewijze instructies gewenst zijn om de beoogde reflectieprocedure goed te laten verlopen.

De pilotstudie naar het onderwijsexperiment gericht op het realiseren van een sociale leeractiviteit (§ 4.4) heeft aangetoond dat met de gekozen onderwijsopzet het beoogde 'wetenschappelijke' gesprek over het belang en de functie van temperatuurregulatie zich kan ontwikkelen op basis van grondige, gezamenlijke probleemorientatie.

Het met een groep leerlingen beoefenen van deze expert practice lijkt dus haalbaar, mits er een gemeenschappelijk zicht is (ontstaan) op het vakinhoudelijke probleem dat wordt geëxploreerd. Als negatieve factor in de hier verkende vakinhoudelijke casus werkte het ontbreken bij sommige leerlingen van (een zekere) kennis van de energiehuishouding en het basaalmetabolisme. Voor het ontwerpen van onderwijs kan hieruit worden afgeleid dat kennis van deze aspecten een voorwaarde is om temperatuurregulatie als biologische functie te kunnen benaderen.

Voorts werd duidelijk dat een wetenschappelijke discussie over temperatuurregulatie werd bevorderd door leerlingen hun ideeën over temperatuurregulatie te laten schematiseren. Uit het procesverloop kan worden afgeleid dat het gebruik van deze schema's (modellen) als hulpmiddel bij de onderlinge discussies een positief effect had op het bereiken van conceptual consensus.

Noten

- [A] De term 'misconcepten' is een van de vele aanduidingen die in verband met de voorkennis van leerlingen worden gebruikt. Door Wandersee *et al* [1] en Mintzes *et al* [2] worden meer dan 15 verschillende termen vermeld, die in de door hen in onderzoeksartikelen zijn aangetroffen als aanduiding voor ideeën die kinderen hebben met betrekking tot hun natuurlijke omgeving.

Ohly (in Buddingh', Gerhardt en Piepenbrock [16]) heeft getracht verbanden aan te geven tussen een aantal van deze termen en opvattingen over leren en onderwijzen.

- [B] Overigens is het een intrigerend verschijnsel dat in populaties van zo verschillende socio-culturele en geografische herkomst dergelijke duidelijke overeenkomsten in denkbeelden worden aangetroffen!

Referenties

- [1] Wandersee, J.H., J.J.Mintzes & M.W.Arnaudin (1989) *Biology from the Learner's Viewpoint: A Content Analysis of the Research Literature*. School Science and Mathematics, 89(8), 654-668.
- [2] Mintzes, J.J., J.E.Trowbridge, M.W.Arnaudin & J.H.Wandersee (1991) *Children's biology: Studies on conceptual development in the life sciences*. In: Glynn, S., R.H.Yeany & B.K. Britton (Eds.) *The Psychology of Learning Science*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- [3] Simpson, W.D. & E.A. Marek (1988) *Understandings and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools*. Journal of Research in Science Teaching, 25(5), 361-374.
- [4] Westbrook, S.L. & E.A. Marek (1992) *A cross-age study of student understanding of the concept of homeostasis*. Journal of Research in Science Teaching, 29(1), 51-61.
- [5] Dreyfus, A., E.Jungwirth & R.Eliovitch (1990) *Applying the "Cognitive Conflict" Strategy for Conceptual Change - Some Implications, Difficulties, and Problems*. Sci.Educ. 74(5), 555-569.
- [6] Demastes, S. & J.H.Wandersee (1992) *Biology literacy in a college biology classroom*. BioScience, 42, 63-65.
- [7] Hashew, M.Z. (1988) *Descriptive studies of students' conceptions of science*. Journal of Research in Science Teaching, 25, 121-134.
- [8] Driver, R. (1990) *The teaching and understanding of concepts in science*. In: N.Entwistle (ed.), *Handbook of Educational Ideas and Practices*. Routledge, London.
- [9] Driver, R. & J.Easley (1978) *Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students*. Studies in Science Education, 5, 61-84.
- [10] Lythcott, J. & R.Duschl (1990) *Qualitative research: From Methods to Conclusions*. Science Educ. 74(4), 445-460.
- [11] Klaassen, C.W.J.M. (1994) *Knowledge acquisition as interpersonal understanding*. In: P.L.Lijnse (ed.) *European research in science education*. CD-B Press, Utrecht.
- [12] Arnaudin M.W. & J.J.Mintzes (1985) *Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study*. Science Education, 69(5), 721-733.
- [13] Arnaudin M.W. & J.J. Mintzes (1986) *The cardiovascular system: Childrens' conceptions and misconceptions*. Science and Children, 23(50), 48-51.
- [14] Carey, S. (1985) *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press, Cambridge, Mass.
- [15] Roebertsen, H. (1996) *Integratie en toepassing van biologische kennis. Ontwikkeling en onderzoek van een curriculum rond het thema 'lichaamsprocessen en vergift'*. CD-B Press, Utrecht.
- [16] Buddingh', J., A.Gerhardt & Chr.Piepenbrock (1992) *Lernen, Verstehen und Mißverstehen im Biologieunterricht*. In: Entrich, H. & L.Staack, *Sprache und Verstehen im Biologieunterricht*. Leuchtturm Verlag, Alsbach/Bergstr.

Regulatie en homeostase als onderwijsthema

5 PROEFOPZET VOOR EEN DEELCURRICULUM: het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'

5.1 Inleiding

Zoals reeds in hoofdstuk 1 is aangegeven, participeerde de vakgroep Didactiek van de Biologie vanaf het midden van de tachtiger jaren in de landelijke vernieuwingsactiviteiten gericht op de invoering van een nieuw examenprogramma voor het vak biologie in het HAVO en het VWO. De vakgroep koos daarbij als vertrekpunt dat de bijdragen aan deze vernieuwing gebaseerd moesten zijn op een grondige doordenking van uitgangspunten en ondersteund dienden te worden met onderzoek(sgegevens). De biologisch-inhoudelijke thematiek waarop de vakgroep zich -op grond van landelijke taakafspraken- richtte, betrof die van 'Stabiliteit en verandering', waarbij in het bijzonder aandacht zou worden geschonken aan het thema regulatie en homeostase op organismeniveau, en aan het thema genetica. Als eerste aanzet tot vernieuwing werd binnen de vakgroep gewerkt aan het formuleren van uitgangspunten voor het beoogde onderwijs en werden vooronderzoeken uitgevoerd waarvan de gegevens moesten dienen om het beoogde onderwijs verder te concretiseren.

De start van het Project Bovenbouw Biologie (PBB), eind 1989, betekende dat de inmiddels verkregen onderzoeksgegevens konden worden ingebracht in een ontwikkelkader: een project dat onder meer bedoeld was om in de vorm van voorbeeldmateriaal deelcurricula te ontwikkelen die de invoering van bepaalde onderdelen van het nieuwe examenprogramma zouden ondersteunen. In het kader van PBB werden door de vakgroep enkele deelprojecten uitgevoerd. Over deze activiteiten is vanuit de vakgroep in diverse publicaties verslag gedaan [1,2,3,4]. Een deel van de (onderzoeks)resultaten in verband met het ontwikkelen van een deelcurriculum over het thema regulatie en homeostase is gerapporteerd in de drie voorgaande hoofdstukken van dit proefschrift.

Hierna wordt eerst in het kort het ontwikkelkader voor dit deelcurriculum beschreven waarbij de taken, opzet en werkwijze van de ontwikkelgroep aan de orde komen.

Vervolgens worden de doelen en hoofdlijnen van dit curriculum geschetst en wordt de verdere uitwerking en invulling van het ontwerp in detail besproken. Daarbij zal worden aangegeven welke overwegingen, gegevens of aanwijzingen hebben meegespeeld bij het maken van specifieke keuzes aangaande de inhoud en vorm van het ontwerp.

5.2 Het PBB-deelproject Homeostase: doel en werkwijze

Om de vernieuwing van biologieonderwijs over de thematiek van regulatie en homeostase concreet inhoud en vorm te geven werd de *PBB-ontwikkelgroep Homeostase* gevormd, waarvan drie vakdidactici-onderzoekers en drie docenten biologie VO deel uitmaakten. Met de deelname van deze docenten werd een vanuit innovatief oogpunt belangrijk uitgangspunt gerealiseerd, zie § 2.3.4. De participatie van deze docenten hield o.m. in dat in belangrijke mate gebruik gemaakt zou worden van hun adviezen aangaande de praktische uitvoerbaarheid van ideeën en uitgangspunten die in de aanloopfase naar het PBB-project waren geformuleerd.

De *taak van de ontwikkelgroep* was om -conform het doel van het PBB-project- voorbeeldmateriaal te ontwikkelen, dat de invoering van bepaalde onderdelen van het nieuwe examenprogramma zou ondersteunen. Tevens zou dit voorbeeldmateriaal verwerkt moeten kunnen worden in nieuwe (edities van) schoolboeken. In verband hiermee werd gekozen voor het maken van een ontwerp dat als een eerste introductie moest fungeren op de vakinhoudelijke thematiek van regulatie en homeostase in het VWO. Voorts moest -op grond van de PBB-doelstelling- aansluiting met bestaande curricula worden gezocht en diende het voorbeeldmateriaal een lage gebruiksdrempel te hebben.

De PBB-doelstelling bepaalde daarmee in belangrijke mate de *productvorm*: het onderwijsontwerp zou worden geconcretiseerd in de vorm van onderwijsmateriaal dat direct bruikbaar zou zijn in de klassesituatie. De ontwikkelgroep besloot om naast een gebruiksklare leerlingentekst een daarop aansluitende docentenhandleiding samen te stellen. Hiermee werd beoogd om de drempel voor het werken met nieuwe inhoud en zo laag mogelijk te maken. Om dezelfde reden werd besloten om dit onderwijsmateriaal zodanig op te zetten dat het bruikbaar zou zijn in *diverse* 'gangbare schoolpraktijken'. Dit betekende dat het tijdsbeslag overeen zou moeten komen met de tijd die normaliter aan deze thematiek wordt besteed en dat de onderwerpen die aan de orde komen inpasbaar zouden zijn in lopende programma's om zo a.h.w. 'schoolboekvervangend' te zijn. Ook om deze reden werd besloten om er bij de uitwerking van het materiaal op te letten dat een zekere ruimte werd gelaten voor docenten om op basis van eigen didactische inzichten en vaardigheden met het ontwerp te werken; het ontwerp moest didactisch niet zodanig voorschrijvend zijn dat een (te hoge) gebruiksdrempel werd opgeworpen.

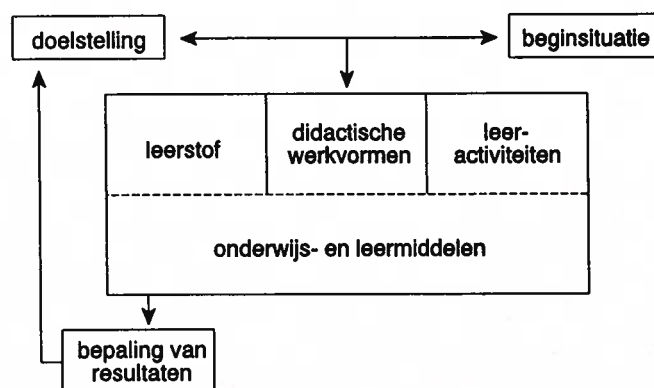
Samenvattend betekende dit dat de ontwikkelgroep bij het maken van het ontwerp gebruik zou maken van uitgangspunten en onderzoeksgegevens, die in de voorgaande hoofdstukken zijn gerapporteerd, dat daarnaast een aantal -vanuit PBB-optiek geformuleerde- praktische randvoorwaarden als een kader zouden fungeren en dat voorts de praktijkervaringen en -adviezen van de VWO-docenten een belangrijke rol zouden spelen bij het nemen van ontwerpbeslissingen.

Dit alles heeft geleid tot een onderwijsontwerp met een compromiskarakter: slechts een deel van de opbrengsten van de hoofdstukken 2 en 3 wordt in de proefopzet teruggevonden terwijl daarnaast ook ideeën en bouwstenen van andere origine in het ontwerp zijn verwerkt.

De ontwikkelgroep werkte in twee stappen: eerst werd het curriculum *op hoofdlijnen* uitgewerkt waarbij de doelen van het curriculum en vervolgens de vakinhoud en de te volgen didactische werkwijzen globaal werden omschreven. Dit betekende dat keuzes werden gemaakt ten aanzien van de inhoud en volgorde van de biologische leerstof, en van de wijze waarop het leren en onderwijzen georganiseerd zou worden. Als tweede stap vond de uitwerking *in detail* plaats, waarbij de invulling plaatsvond van het materiaal dat was bestemd voor direct gebruik door leerlingen en docenten in de klassesituatie.

Bij het uitwerken van het curriculum werd -als beschrijvingskader- gebruik gemaakt van de componenten van de onderwijsleersituatie, zoals deze door Van Gelder en zijn medewerkers zijn onderscheiden in het Model Didactische Analyse, Afb. 5.1 (zie De Corte [5]). Door Boekaerts en Simons [6] worden deze omschreven als de componenten 'die tezamen het didactisch proces vormgeven'.

Afb. 5.1 / Model Didactische Analyse (In: De Corte *et al.*[5]).



De ontwikkelgroep werkte aan de hand van opeenvolgende concept-documenten, waarbij de auteur van dit proefschrift als eerste auteur fungeerde. Een reeks commentaar- en besprekingsrondes leidde tot definitieve keuzes met betrekking tot de structurering, de inhoud en de vormgeving van het curriculum op hoofdlijnen, en vervolgens tot produkten voor gebruik in de klas.

In verband met het inschatten van de haalbaarheid van de verschillende ideeën en van de bruikbaarheid van het materiaal in de klassesituatie was de -op een ruime praktijkervaring gebaseerde- inbreng van docenten van veel belang.

Bij het uitwerken van de schriftelijke curriculumdocumenten -het leerlingenmateriaal met bijbehorende docentenhandleiding- werd erop gelet dat deze tesamen -in termen van Posner & Rudnitzky [7]- een 'instructional plan' vormen, d.w.z. als draaiboek kunnen fungeren voor het handelen van docent en van leerlingen.

5.3 De hoofdlijnen van het curriculum

De ontwikkelgroep heeft eerst de hoofdlijnen van het curriculum uitgezet, waarbij achtereenvolgens de doelen, de biologisch-inhoudelijke opzet en de te volgen werkwijzen in de klas werden omschreven.

Doelen

Vertrekpunt voor het omschrijven van de *vakinhoudelijke doelen* van het curriculum vormde de -in § 2.2 als uitgangspunt gekozen- organicistische visie op leven en levensverschijnselen. Op grond hiervan koos de ontwikkelgroep ervoor om als raamwerk voor het benoemen en verklaren van fysiologische processen gebruik te maken van de systeembenadering, die een instrumenteel onderdeel is van genoemde visie. Het beoogde onderwijsontwerp zou als introductie moeten dienen op het thema regulatie en homeostase in de bovenbouw van het VWO. Om die reden werd besloten om de systeembenadering zodanig in het ontwerp tot uitdrukking te laten komen dat daarmee een basis wordt gelegd waarop eventuele vervolgonwerpen kunnen voortbouwen. Het ontwerp zou dus moeten leiden tot kennis van zowel de specifieke fysiologische thematiek als van de systeembenadering.

In verband hiermee werden als centrale vakinhoudelijke doelen geformuleerd dat de leerling aan de hand van de systeembenadering kennis en begrip ontwikkelt van de belangrijkste kenmerken en functies van levende systemen en deze benadering leert gebruiken om de betekenis van biologische regulatie voor het leven en overleven van deze systemen te benoemen en te verklaren. Daarbij verwerft de leerling kennis en begrip van principes en voorbeelden van regulatie en homeostase op verschillende organisatieniveaus en van kenmerken en eigenschappen van de verschillende regulatietypen.

Deze benadering te weten de inbedding van de specifieke aandacht voor verschijnselen van regulatie en homeostase in een systeemvisie is een operationalisering van de uitgangspunten die vanuit vakwetenschappelijke invalshoek werden gekozen en die zijn beschreven in § 2.2.

Biologisch-inhoudelijke opzet

Om de biologisch-inhoudelijke hoofdlijnen van het curriculum verder uit te zetten is als eerste de vraag aan de orde gesteld op welke wijze de systeembenadering in het curriculum geoperationaliseerd kon worden. Essentieel in deze benadering is dat levende systemen worden gezien als gehele die in voortdurende wisselwerking staan met hun omgeving. Dit betekent dat de leerling zou moeten leren om op die manier naar leven(svormen) te kijken en om dit systeemperspectief te gebruiken als kader om regulatie en homeostase te beschrijven en te verklaren als *functies* voor het leven en overleven van levende systemen.

In verband hiermee werd besloten om de systeembenadering aan meerdere niveaus te demonstreren. Naast het organisme-niveau, dat -zo werd in § 3.2 geconstateerd-onmisbaar is om homeostatische regulatie als fysiologisch proces aan de orde te stellen, werden hiervoor het celniveau en het populatieniveau gekozen. Door het gebruik van de beide laatstgenoemde niveaus zouden -zo meenden de VWO-docenten in de ontwikkelgroep- ook verbanden kunnen worden gelegd met andere onderdelen en thema's in het biologieonderwijs. Op celniveau zou een beroep gedaan kunnen worden op de voorkennis van leerlingen over osmotische processen bij eencelligen. Het populatieniveau krijgt veel aandacht in het biologie-onderwijs, daarom werd het belangrijk en zinvol geacht om leerlingen zeker ook op dit niveau vertrouwd te maken met de systeembenadering.

Naast besluiten over de *leerstofselectie* moesten ook besluiten worden genomen over de *leerstofsequentie*, dat wil zeggen de *volgorde* waarin deze leerstof cq. de gekozen organisatieniveaus aan de orde zou(den) komen. Hierbij werd overwogen dat in voorafgaand biologieonderwijs de bouw en de werking van de cel aan de orde zijn geweest. Aangenomen werd dat met name de kennis die leerlingen hebben van osmose- en diffusieprocessen op celniveau, kan worden ingezet bij de introductie van het wisselwerkingsconcept. Voorts werd overwogen dat voor de systeembenadering op dit niveau een eenvoudig systeemmodel gebruikt kan worden waarin de belangrijkste systeemkenmerken van een cel geschematiseerd zijn weergegeven. Om deze redenen werd de cel het meest geschikt geacht voor het introduceren van de systeembenadering. Op grond hiervan werd besloten om het *celniveau* als eerste aan de orde te stellen.

De volgende volgorde-beslissing was om het *organismeniveau* als tweede systeemniveau aan de orde te stellen. Hierbij werd overwogen dat -i.t.t. bij populaties- ook bij organismen sprake is van een discreet onderscheid tussen systeem en systeemomgeving en dat de wisselwerking van organisme en omgeving hier op dezelfde wijze modelmatig kan worden benaderd als op celniveau. Ook werd overwogen dat organismen na het celniveau in *bio-logische* zin het eerstvolgende systeemniveau vormen.

Gezien de uitkomsten van de empirische (voor)onderzoeken besloot de ontwikkelgroep om op dit niveau -als voorbeeld van een homeostatische regulatie- de temperatuurregulatie bij dieren te gebruiken. Daarmee kan ook -zo bleek uit dit onderzoek-

worden ingespeeld op de eigen kennis en ervaringen van de leerling met de lichaamstemperatuurregulatie.

Een gevolg van bovengenoemde keuze is dat het *populativeniveau* als laatste aan de orde wordt gesteld. De ontwikkelgroep wil dit organisatieniveau gebruiken om het verschil tussen een homeostatische regulatie en een dynamische evenwichtsregulatie te illustreren.

Werkwijzen

Om de gebruiksdrempel zo laag mogelijk te houden, werd besloten om het leerlingenmateriaal zodanig in te richten dat hiermee in verschillende 'gangbare schoolpraktijken' gewerkt zou kunnen worden. Daarbij werd er op gelet dat het materiaal in ieder geval ook gebruikt zou kunnen worden in de constructivistische didactische praktijk, waarvoor de uitgangspunten zijn uitgewerkt in § 2.3.2.4.

Hierbij moet worden aangetekend dat de uitwerking van deze uitgangspunten op dat moment nog niet beschikbaar was in de gedetailleerde vorm zoals die is weergegeven in hoofdstuk 2 van dit proefschrift.

Dit betekende dat bij het uitzetten van de hoofdlijnen van te volgen werkwijzen werd niet alle uitgangspunten voor een constructivistische didactische praktijk (§ 2.3.2.4) in het leerlingenmateriaal werden geoperationaliseerd.

In concreto hield dit in dat de elementen van een constructivistische didactische praktijk waarbij een beroep gedaan wordt op de individuele (voor)kennis (activeren en expliciet maken, confrontatie met vakwetenschappelijke informatie, evaluatie van en reflectie op de eigen (voor)kennis in het leerlingenmateriaal werden uitgewerkt. Hierbij werd gebruik gemaakt van de onderzoeksresultaten die in § 4.3 zijn gerapporteerd.

Afgezien werd daarentegen van het uitwerken in het ontwerp van de uitgangspunten die betrekking hebben op specifieke sociale leeractiviteiten (als overleg, discussie en onderhandeling tussen leerlingen), zoals bijvoorbeeld verkend in de tweede pilotstudie (§ 4.4). De ontwikkelgroep besloot het programmeren hiervan over te laten aan de individuele docent en aanwijzingen hiervoor in de docentenhandleiding op te nemen. Besloten werd voorts om het leerlingenmateriaal zodanig in te richten dat leerlingen aan de hand daarvan werden aangezet tot denk- en werkwijzen vergelijkbaar met die in de vakwetenschap. Daartoe zou onder meer gebruik worden gemaakt van schema's en modellen die ook in de vakwetenschap worden gehanteerd en waarover in § 3.3.3 is gerapporteerd.

Samenvattend: in het leerlingenmateriaal zouden aanzetten worden gegeven voor een constructivistische didactische praktijk waaraan de docent -afhankelijk van eigen mogelijkheden en opvattingen- desgewenst verder een eigen, passende uitwerking en invulling kan geven.

5.4 De verdere uitwerking en invulling van het ontwerp

De hiervoor gegeven hoofdlijnen van het curriculum vormen het uitgangspunt voor de verdere uitwerking en invulling van het leerlingenmateriaal en van de bijbehorende docentenhandleiding. Eerst wordt de vakinhoudelijke invulling van het ontwerp besproken zoals die paragraafsgewijs in het leerlingenmateriaal is uitgewerkt conform de in § 5.3 gekozen ordening van de vakinhoud c.q. van de organisatieniveaus. Ter verantwoording van de gemaakte inhoudelijke keuzes wordt een aantal overwegingen en toelichtingen bij de gemaakte keuzes gegeven. Deze zijn -ter onderscheiding van de inhoudelijke lijn- in kleine letters afgedrukt. In de hierna volgende beschrijving van de vakinhoudelijke invulling zijn ook reeds de te volgen werkwijzen beschreven, evenals de modellen en schema's die in het materiaal worden gebruikt. Aan het einde van deze paragraaf worden deze werkwijzen en het gebruik van modellen en schema's nader toegelicht.

Vakinhoudelijke invulling

Uitwerking celniveau

§ 1 - EENCCELLIGEN: HET PANTOFFELDIERTJE IN ZIJN MILIEU

Om op celniveau de systeembenadering te introduceren, worden aan de hand van de eencellige *Paramecium* eerst de basiskennmerken en eigenschappen van de cel-als-systeem benoemd.

Bij deze keuze is de ontwikkelgroep er van uitgegaan dat leerlingen in voorafgaand biologieonderwijs de 'levenskenmerken' hebben leren kennen en dat op deze voorkennis een beroep gedaan kan worden. Gezien de aanwijzingen van Weiland [8] -zie § 3.2- wordt daarbij als voorbeeldobject een eencellig organisme gebruikt. Gekozen is in dit geval voor *Paramecium* - het pantoffeldiertje-, een eencellige die beschikt over een (microscopisch zichtbare) structuur met een regulatiefunctie. Voorts overwoog de ontwikkelgroep dat veel leerlingen in het Nederlandse biologieonderwijs al eerder kennis gemaakt zullen hebben met de bouw en het functioneren van *Paramecium*.

Vervolgens komt de wisselwerkings-relatie van deze cel met het omringende milieu aan de orde en worden de werking en de functie van de contractiele vacuole besproken. Invalshoek hierbij is dat de samenstelling van het cytoplasma constant wordt gehouden waarbij met name de specifieke rol (functie) van de contractiele vacuole aan de orde komt.

Verondersteld wordt dat de leerling een zekere basiskennis heeft van diffusie- en osmoseprocessen. Ter visualisering wordt een stappenschema van de werking van de contractiele vacuole gepresenteerd, dat is gebaseerd op aanwijzingen in het BSCS-materiaal (zie § 3.2).

Aan de hand van een vervolgoopdracht wordt verder ingegaan op de mogelijke rol van de contractiele vacuole als osmoregulatorisch orgaan. De opdracht aan leerlingen bestaat uit het verkennen en beoordelen van een hypothese over het functioneren van de contractiele vacuole op grond van onderzoeksgegevens.

Ook hierbij wordt een beroep gedaan op veronderstelde voorkennis over diffusie en osmose. Met deze opdracht wordt -in de vorm van een 'wetenschappelijk' vraagstuk- dieper ingegaan op het eerste voorbeeld van regeling van de interactie tussen systeem en systeemomgeving, dat in het ontwerp wordt gepresenteerd. De gegevens voor het opstellen van deze opdracht werden ontleend aan aanwijzingen in Nuffield Biology -zie § 3.2- en aan het onderzoek van Kitching [9].

Om het ervaringsaspect verder uit te bouwen kan desgewenst een practicum worden ingevoegd, waarbij nader wordt ingegaan op de bouw en het functioneren van *Paramecium*.

Deze mogelijkheid wordt niet uitgewerkt in de leerlingentekst maar zal als suggestie in de docentenhandleiding worden opgenomen.

§ 2 - DE WISSELWERKING TUSSEN ORGANISME EN OMGEVING

De principes van de wisselwerking tussen een eencellig organisme en de omgeving worden samengevat en door de leerling samengebracht in een basisschema waarin de bouw van zo'n organisme geschematiseerd is weergegeven. In het schema zijn de structuren en functies gevisualiseerd die betrokken zijn bij de wisselwerking tussen cel en celomgeving.

Als voorbeeld zijn hier de stof- (of materie-) stromen genomen, waarmee wordt aangesloten op de kenmerken en eigenschappen van *Paramecium* die al aan de orde kwamen.

Het gebruik van dit schema is erop gericht om een modelmatige manier van kijken naar levende systemen te introduceren. De grondvorm van dit schema is gebaseerd op een schema uit Campbell [10] waarmee wordt geïllustreerd welke structuren en functies op organismeniveau een rol spelen.

Tussenstap: eencellig en meercellig

§ 3 - EENCELLIG - MEERCELLIG: EEN VERGELIJKING

Als tussenstap van cel- naar organismeniveau wordt het principe van wisselwerking uitgewerkt voor een meercellig hoger organisme en wordt ingegaan op complicaties als specialisatie en differentiatie. De stofstromen en de structuren die hierbij betrokken zijn, worden vervolgens door de leerling in een schema weergegeven.

Hier wordt opnieuw gebruik gemaakt van het eerdergenoemde schema uit Campbell [10].

Overwogen is dat door het gebruik van schema's met dezelfde grondvorm tot uiting wordt gebracht dat het bij de wisselwerking van eencellige en van meercellige organismen met hun omgeving in principe om dezelfde stofstromen gaat.

Aangegeven wordt vervolgens dat ook de cellen van een meercellig organisme in een waterig milieu 'leven', overeenkomstig de situatie bij eencelligen.

Hier wordt de vergelijking tussen een- en meercelligen gebruikt ter introductie van het begrip weefselvloeistof dat in de volgende paragraaf aan de orde komt in het kader van regulatie op organismeniveau.

In opdrachten aan het einde van deze paragraaf wordt de leerling gevraagd om de parallellen tussen een- en meercelligen nauwkeurig uit te werken.

§ 4 - REGULATIE IN BIOLOGISCHE SYSTEMEN

Het begrip biologisch systeem wordt ingevuld door de belangrijke eigenschappen - waaronder regulatie- waardoor zo'n systeem zichzelf in stand (=in leven) kan houden, samen te vatten.

Vervolgens wordt aan de hand van de systeembenadering ingegaan op de functie van regulatie. Deze wordt benaderd als systeemcontrole: de beweging en verwerking van stoffen vindt niet 'zomaar' plaats, maar verloopt volgens bepaalde 'regels'. Een resultaat hiervan op organismeniveau is -bij hoger ontwikkelde dieren- het constante 'milieu intérieur'. Dit concept wordt -via een opdracht- in verband gebracht met het basisschema van een organisme, dat in de voorgaande § 3 werd gepresenteerd.

De inhoud van deze paragraaf is gekozen om -nadat de systeembenadering is geïntroduceerd en op twee systeemniveaus geïllustreerd- de overgang te maken van de systeembenadering van regulatie naar een gedetailleerde uitwerking van een voorbeeld van regulatie op organismeniveau.

Uitwerking organismeniveau

§ 5 - ORGANISME EN TEMPERATUUR

Om regulatie op organismeniveau diepgaander uit te werken is in belangrijke mate geput uit onderzoeksgegevens en aanwijzingen die werden gerapporteerd in hoofdstuk 3. Op grond hiervan werd het voorbeeld van temperatuurregulatie bij hogere dieren gekozen. Vertrekpunt is -in het verlengde van voorgaande paragrafen- dat bij het organisme naast andere factoren ook de temperatuur van het celomringende milieu ongeveer gelijk moet blijven.

Ter introductie wordt eerst de wisselwerking van organisme en omgeving in kaart gebracht. Deze wordt vervolgens uitgewerkt via een opdracht waarbij de leerling de verschillende warmtestromen tussen een dier en zijn omgeving moet verkennen aan de hand van een schema dat een overzicht geeft van deze stromen. In een vervolgoopdracht komen de problemen aan de orde, waarvoor dieren worden geplaatst in respectievelijk een 'hete' en een 'koude' omgeving.

Bij deze invulling is overwogen dat inzicht nodig is in de (complexe) warmteproblematiek om temperatuurregulatie als functie te kunnen zien en verklaren. M.a.w. dat regulatie niet (slechts) wordt benaderd als een verschijnsel maar als een proces waardoor (over)leven mogelijk is.

Vervolgens wordt expliciet het principe van continue warmteproductie aan de orde gesteld.

Op grond van de resultaten van de tweede pilotstudie (§ 4.4) wordt -voorafgaand aan de uitwerking van het temperatuurregulatiesysteem- het principe van continue warmteproductie bij dieren aan de orde gesteld. Een deel van de leerlingen weet of realiseert zich niet dat er -als gevolg van stofwisselingsprocessen- sprake is van een continue productie van warmte.

Nadruk wordt gelegd op de extra complicatie als gevolg van de continue hoge warmteproductie, die bij veel hogere diersoorten voorkomt.

De continue hoge productie van warmte vormt een extra bijdrage aan de warmtebeheersingsproblematiek. Dit is vaak een complicerende factor bij temperatuurregulatie cq. het controleren en beheersen van warmteproductie en/of -verlies.

§ 6 - HET ORGANISME ALS WARMTECENTRALE

De lichaamstemperatuurregulatie bij de mens wordt aan de orde gesteld aan de hand van een inspanningsfysiologische casus, waarin aan de orde komt wat er gebeurt als de warmteproductie van het menselijk lichaam wordt vergroot.

Hierbij wordt de casus gepresenteerd die ook werd gebruikt in de eerste pilotstudie (§ 4.3).

Hierbij bleek dat de voorkennis van leerlingen over de temperatuurregulatie van hun eigen lichaam een bruikbaar aangrijpingspunt is om dit voorbeeld van een homeostatische regulatie verder uit te werken, mede omdat er een thematiek aan de orde komt die voor iedere leerling persoonlijk relevant is.

De lichaamstemperatuurregulatie wordt benaderd vanuit de eigen voorkennis en ervaringen van leerlingen. Aan de hand van een opdracht geven leerlingen hun individuele verklaringen voor een aantal verschijnselen van regulatie. Met name worden van hen verklaringen gevraagd voor het niet-veranderen van de lichaamstemperatuur.

Het is de bedoeling dat door deze opdracht de voorkennis en denkbeelden van leerlingen over de regeling van de lichaamstemperatuur in beeld komen, waar vervolgens mee kan worden verder gewerkt.

§ 7 - HET WARMTEREGULATIESYSTEEM BIJ DE MENS

In deze paragraaf staan de bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem centraal. Als vertrekpunt worden de problematieken van te sterke opwarming en te sterke afkoeling beschreven waarvoor het regelsysteem 'oplossingen' moet bieden.

Met deze benadering wordt ook hier de nadruk gelegd op het functionele karakter van regulatie. Vervolgens komen de drie basiselementen -sensoren, regulatiecentrum en effectoren- van het regelsysteem aan de orde, waarbij de ligging en de specifieke functie van deze onderdelen worden besproken.

Met het benoemen van deze elementen wordt vooruitgelopen op de modelmatige benadering van een homeostatische regulatie in de vorm van het regelkringschema dat in § 9 van het leerlingenmateriaal aan de orde komt.

Tenslotte wordt een regulatieschema gepresenteerd waarmee de werking van het systeem cq. de interactie van de besproken onderdelen wordt geïllustreerd.

Dit schema is gebaseerd op het schema van Hardy [11], zie § 3.3.2 van dit proefschrift. Het oorspronkelijke schema werd door de ontwikkelgroep op een aantal punten aangepast om de helderheid en de leesbaarheid ervan te vergroten. Getracht is om dit schema zodanig op te zetten dat het gebruikt kan worden als verklaringsmodel: een gevisualiseerde 'hypothese' die bruikbaar is om uitspraken te doen over het verloop en effect van bepaalde processen in het lichaam.

De tekst en het schema kunnen als uitgangspunt fungeren om leerlingen te laten reflecteren op hun eerder gegeven verklaringen voor het constant blijven van de lichaamstemperatuur (in § 6).

Deze suggestie wordt niet in het leerlingenmateriaal uitgewerkt maar zal worden opgenomen in de docentenhandleiding.

§ 8 - TE VEEL WARMTE ?

In het verlengde van en als variant op het voorbeeld van temperatuurregulatie wordt het verschijnsel koorts aan de orde gesteld.

Het voorbeeld lichaamstemperatuurregulatie wordt hier niet alleen gebruikt om de structuur en werking van een homeostatische regulatie te illustreren, maar ook om bij de leerling (meer) biologisch gefundeerde en genuanceerde kennis over het verschijnsel koorts te ontwikkelen.

Ook het verschijnsel koorts wordt op basis van de eigen voorkennis en ervaringen van de leerling benaderd: de leerling wordt gevraagd om met een eigen definitie van koorts te komen en de oorzaak ervan aan te geven.

Deze definitie wordt in een volgende opdracht als aangrijpingspunt voor verdere kennisontwikkeling gebruikt.

Vervolgens wordt een tekst aangeboden waarin een koortsverloop-casus wordt beschreven en wordt geïllustreerd in een temperatuurgrafiek. De leerling wordt gevraagd om deze gegevens te interpreteren en te verklaren met behulp van het eerder gegeven temperatuurregulatieschema (in § 7).

Tenslotte wordt de leerling door middel van een reflectieopdracht uitgenodigd om de eerder gegeven definitie van koorts aan te vullen, bij te stellen of te verbeteren.

§ 9 - REGULATIETHEORIE: DE REGELKRING

De principes van biologische regulatie worden modelmatig benaderd met behulp van een regelkringschema. In dit schema wordt de weg van de informatiestroom via sensoren, regelcentrum en effectoren gevisualiseerd.

Het schema -dat is gebaseerd op Hassenstein [12] en Schaefer [13]- kan worden gebruikt om het verloop van regulaties te volgen, te verklaren en te voorspellen.

Vervolgens wordt het voorbeeld van temperatuurregulatie hier opnieuw gebruikt, nu om het verloop van deze regulatie te benoemen in termen van het regelkringschema en worden aan de hand van het schema het set-point principe en het principe van negatieve feed-back geïntroduceerd.

Het voorbeeld van temperatuurregulatie wordt hier als ingang gebruikt om met behulp van het schema de principes van regulatie te benaderen op een hoger abstractieniveau en om de specifieke kenmerken van een homeostatische regulatie te benoemen.

Uitwerking populatieniveau

§ 10 - REGULATIE IN POPULATIES

Als overgang van het organismeniveau naar het populatieniveau worden eerst voorbeelden van populaties vermeld en wordt aangegeven in welke vorm zich bij populaties de levenskenmerken manifesteren, die ook op cel- en organismeniveau werden gevonden (zie § 1 en 3). Vervolgens wordt aangegeven welke beïnvloeding plaatsvindt vanuit de systeemomgeving op het systeem populatie. Hiermee wordt ook op populatieniveau de systeembenadering gebruikt als ingang om de regulatie van populaties aan de orde te stellen.

Ter illustratie van regulatie op populatieniveau is gekozen voor het in schoolboeken veel gebruikte voorbeeld van de wederzijdse beïnvloeding van de populatiegrootte van hazen en lynxen.

Een reden om dit voorbeeld ook hier te gebruiken is dat aan de hand van een meer precieze analyse het verschil met de ervoor uitgewerkte homeostatische regulatie naar voren kan komen. Voor leerlingen die al eerder met het hazen-lynxen voorbeeld kennis hadden gemaakt, betekent dit een nuancering van hun kennis van dit regulatietype, anderen kunnen van deze kennis gebruik maken als op andere momenten regulatie op populatieniveau aan de orde wordt gesteld. Dit voorbeeld is geschikt om duidelijk te maken dat het bij deze regulatie gaat om twee verschillende systemen die elkaar beïnvloeden en dat beide systemen (i.c. de populatie-omvang ervan) mede door invloeden van buitenaf in stand worden gehouden.

Met dit voorbeeld wordt -door de afwezigheid van het set-point concept- het onderscheid tussen een homeostatische regulatie en een dynamische evenwichtsregulatie geïllustreerd.

Dit laatste begrip werd hier dus niet expliciet geïntroduceerd, maar zou pas aan de orde komen in een eventueel vervolgonwerp over stabiliteit en regulatie in populaties en ecosystemen.

De gegevens over het verloop van de populatieomvang van hazen en lynxen worden in de vorm van een grafiek aangeboden. Vervolgens wordt met behulp van opdrachten door de leerling onderzocht hoe de regulatie van deze populatieomvang verloopt. Daarbij moet de in grafiekvorm aangeboden informatie worden gebruikt. Gevraagd wordt om de gegevens te interpreteren en deze regulatie in een regelkringschema te schematiseren. Voorts moet worden beoordeeld of hier van een homeostatische regulatie gesproken mag worden.

Bij het uitvoeren van deze opdracht maken leerlingen gebruik van de kenmerken waaraan een homeostatische regulatie kan worden herkend. Beoogd wordt om deze kenmerken als beoordelingscriteria te laten gebruiken.

§ 11 - BIJZONDER GEREDELDE POPULATIES

Als voorbeeld van systeemregulatie op populatieniveau wordt een tekst gepresenteerd met bijzonderheden over de organisatie binnen een bijenvolk en met name over temperatuurregulatie. Vervolgens wordt het superorganisme-concept geïntroduceerd en toegelicht.

De keuze van dit voorbeeld -dat reeds in § 2.3 werd genoemd- is geïnspireerd op de benadering van Wilson [14], die bij een superorganisme spreekt van sociale homeostase.

Met name het voorbeeld van thermoregulatie in insectenstaten gebruikt deze auteur voor een discussie over de aard en werking van deze regulatie. De ontwikkelgroep heeft deze ideeën gebruikt om een opdracht uit te werken waarbij leerlingen met gebruikmaking van de eerdere informatie ingaan op het begrip sociale homeostase.

Het superorganisme-concept wordt gebruikt om te verkennen of op populatieniveau ook gesproken mag worden van (een vorm van) homeostatische regulatie. Aan de hand van een opdracht wordt verkend of de temperatuurregulatie in de bijenkolonie ook kan worden beschreven in de vorm van een regelkringschema. In vervolg hierop wordt gevraagd om de uitspraak te beoordelen dat er bij een bijenvolk gesproken kan worden van sociale homeostase.

Met deze opdracht wordt opnieuw een beroep gedaan op de vaardigheid in het denken in termen en eigenschappen van levende systemen.

Werkwijzen

Gezien het grote belang dat in een constructivistische didactiek aan de voorkennis van de leerling wordt toegekend, wordt in het leerlingenmateriaal op een aantal momenten deze individuele voorkennis als aangrijpingspunt voor het leerproces genomen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van werkwijzen die zijn beproefd in de vooronderzoeken en die werden gerapporteerd in § 4.3 en § 4.4. Hiertoe zijn opdrachten uitgewerkt waarbij aan het begin van een beoogd leerproces de voorkennis door de leerling schriftelijk onder woorden wordt gebracht. Aan de hand van probleem- en situatiebeschrijvingen wordt de leerling uitgenodigd om hiervoor eigen oplossingen en verklaringen te geven. Vervolgens wordt nieuwe informatie aangeboden en wordt in een aantal gevallen de leerling gevraagd om aan de hand hiervan te reflecteren op de eerder gegeven antwoorden en oplossingen, of om deze nieuwe informatie te gebruiken bij een vervolgo opdracht.

Zoals in § 5.3 reeds werd aangegeven en verantwoord, zijn in het leerlingenmateriaal voornamelijk de *individuele* activiteiten van de leerlingen uitgewerkt en is het aan de docent om tussenstappen waarbij leerlingen communiceren en samenwerken te organiseren. Deze *sociale* leeractiviteiten werden dus niet dwingend voorgeschreven maar aanwijzingen hiervoor zijn in de docentenhandleiding opgenomen.

Gebruik van modellen en schema's

Een deel van de informatie wordt in het ontwerp gepresenteerd in gevisualiseerde vorm via schema's en grafieken. Aan de hand van opdrachten moeten leerlingen hiermee werken op een wijze die overeenkomt met de manier waarop in de wetenschap deze informatie wordt gebruikt om de werkelijkheid te beschrijven, te verklaren en te voorspellen. Daarbij gaat het er om dat de leerling leert deze gegevens te interpreteren en te beoordelen, en daaraan conclusies te verbinden. Deze werkwijze is mede gericht op het bevorderen van de 'biological en scientific literacy' van de leerling, een aspect dat in § 2.3.3 aan de orde werd gesteld.

In § 2.3 werd gewezen op het belang en de functie van het gebruik van modellen: de modelmatige benadering van structuren en processen maakt deel uit van de expert practice in de natuurwetenschappen. Als representaties van de werkelijkheid kunnen modellen fungeren als denk- en communicatie'werktuigen'. In die zin kunnen ze gebruikt worden als een leermiddel om de in de natuurwetenschappen gebruikelijke denk- en werkwijzen te oefenen en te leren. In het leerlingenmateriaal wordt in een aantal paragrafen van dergelijke modellen gebruik gemaakt. Deze zijn grotendeels ontleend aan bronnen die werden vermeld in § 3.2.

Voor het visualiseren van de systeembenadering is op de organisatieniveaus cel en organisme (in § 2 en 3) gebruik gemaakt van een schema dat is ontleend aan Campbell [10]. Het gekozen grondschema is consequent doorgevoerd op beide niveaus. Hiermee werd beoogd om op beide niveaus de generaliseerbare systeemkenmerken op gelijke wijze herkenbaar te maken.

Voor het vergelijken van kenmerken en eigenschappen van een- en meercelligen (in § 2) wordt gebruik gemaakt van een schema dat is ontleend aan Bligh *et al.* [15]. Om de bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem te visualiseren wordt (in § 8) gebruik gemaakt van een schema dat is gebaseerd op een schema van Hardy [11]. In dit laatstgenoemde schema zijn -met behoud van de essenties ervan- enkele wijzigingen aangebracht. Hiermee werd beoogd om de toegankelijkheid te verbeteren, zodat het procesverloop beter uit het schema kan worden afgelezen.

Voor het modelmatig benaderen van biologische regulaties wordt (in § 9, 10 en 11) gebruik gemaakt van een regelkringschema dat is gebaseerd op Hassenstein [12] en Schaefer [13].

Gebruik wordt gemaakt van een principeschema waarin de kenmerkende elementen van biologische (feed-back) regulaties zijn weergegeven. Dit schema vormt de uniforme basis voor het benoemen van regulatievoorbeelden op de verschillende organisatieniveaus.

In enkele opdrachten moeten de leerling werken met onderzoeksgegevens. Op de regeling van de waterhuishouding bij eencelligen (in § 2) wordt dieper ingegaan aan de hand van uitkomsten van het onderzoek van Kitching [9]. Bij de uitwerking van de temperatuurregulatie bij de mens wordt een casusbeschrijving van het koortsverloop gegeven en gevisualiseerd, waarvoor de gegevens zijn ontleend aan Guyton [16].

5.5 Het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'

Het curriculumontwerp 'Geregeld overleven' is als bijlage opgenomen in dit proefschrift en verscheen onder dezelfde titel in de reeks van PBB-publikaties [17] (Bijlage 5-1). Het ontwerp bevat naast de leerlingentekst een docentenhandleiding, literatuursuggesties en voorts een aantal afbeeldingen, die als moederbladen gebruikt kunnen worden voor het vervaardigen van kopieën en overhead-transparanten. Deze afbeeldingen zijn vergrote versies van figuren uit de leerlingentekst.

De *leerlingentekst* werd in voorgaande § 5.4 beschreven en is verdeeld in 11 paragrafen, waarin achtereenvolgens de organisatieniveaus cel, organisme en populatie aan de orde komen, met voorbeelden en verschijnselen van regulatie op elk van deze organisatieniveau's.

De *docentenhandleiding* is bedoeld om de docent te steunen bij het gebruiken van het materiaal. In deze handleiding worden verantwoord en/of toegelicht het doel van het curriculum, de doelgroepkeuze, de vakinhoudelijke uitgangspunten, de vakdidactische uitgangspunten en de globale inhoud van het lesmateriaal. Hierna volgen paragraafsgewijze toelichtingen en suggesties, waarbij steeds achtereenvolgens het doel en de opzet van de paragraaf, de mogelijke uitvoering van de les, en een toelichting op en een uitwerking van de opdrachten worden besproken.

Referenties

- [1] Voogt, P.A., M.J.A.Kamp & J.Buddingh' (1989) *De werkgroep homeostase*. Bull.Onderw.Biol. 20(122), 188-189.
- [2] Kamp, M.J.A. (1989) *Uit evenwicht. Waarom krijgt homeostase in het onderwijs niet de aandacht die het verdient ?* Bull.Onderw.Biol. 20(122), 190-193.
- [3] Buddingh', J. (1993) *Students' Personal Knowledge of Regulation and Homeostasis: Pioneering in Biology Classrooms*. Proc.3rd Int.Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, N.Y.
- [4] Buddingh', J. (1996) *Working with Personal Knowledge in Biology Classrooms on the Theme of Regulation and Homeostasis in Living Systems*. In: K.M.Fisher & M.R.Kibby *Knowledge Acquisition, Organization, and Use in Biology*. Proc. NATO Adv.Res.Workshop, Glasgow 1992. Springer-Verlag, Berlin.
- [5] DeCorte, E., C.T. Geerligs, J.J. Peters & R. Vandenberghe (1981) *Beknopte Didaxologie*. Wolters-Noordhoff, Groningen.
- [6] Boekaerts, M. & P.R-J.Simons (1993) *Leren en instructie. Psychologie van de leerling en het leerproces*. Dekker & Van de Vegt, Assen.
- [7] Posner, G.J. & A.N.Rudnitzky (1986) *Course Design. A guide to Curriculum Development for Teachers*. Longman, New York.
- [8] Weiland, A.(1990) *Die Hefe Saccharomyces cerevisiae (Bäckerhefe) ein idealer Organismus für die Schule ?* in: W.Killermann & L.Staeck, *Methoden des Biologieunterrichts*. Aulis, Köln.
- [9] Kitching, J.A. (1938) *Contractile vacuoles*. Biol.Rev.13, 403-444.
- [10] Campbell, N.(1990) *Biology*. Benjamin/Cummings Publ., Redwood City, CA.
- [11] Hardy, R.N.(1983) *Homeostasis*. Edw.Arnold, London.
- [12] Hassenstein, B.(1970) *Biologische Kybernetik*. Quelle & Meyer, Heidelberg.
- [13] Schaefer, G.(1972) *Kybernetik und Biologie*. Metzler, Stuttgart.
- [14] Wilson, E.O. (1976) *The Insect Societies*. Belknap Press, Cambridge, Mass.
- [15] Bligh, J., J.L.Cloudsley-Thompson & A.G.McDonald (eds.)(1976) *Environmental Physiology of Animals*. Blackwell Sc.Publ., Oxford.
- [16] Guyton, A.C. (1981) *Textbook of Medical Physiology*. Saunders, Philadelphia.
- [17] Buddingh', J., M.J.A.Kamp & P.A.Voogt (1992). *Geregeld Overleven*. PBB-publikatie, SLO, Enschedé.

Regulatie en homeostase als onderwijsthema

6 WERKEN MET 'GEREGELD OVERLEVEN': onderzoek naar gebruikseffecten in de klas

6.1 Inleiding

In 1992 werd in enkele klassen het gebruik van het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' gevolgd en werd onderzocht welke (leer)effecten daarbij optraden. Doel hiervan was om na te gaan in hoeverre de kennis over regulatie en homeostase, waarop het ontwerp zich richt en die is omschreven in hoofdstuk 5, zich in een reguliere onderwijssituatie ontwikkelt. In dit hoofdstuk worden de ervaringen met en de effecten van het werken in de klas met het leerlingenmateriaal beschreven en geanalyseerd.

6.2 Doel, vraagstellingen en onderzoeksthema's

Het onderzoek waarover hierna wordt gerapporteerd, kan getypeerd worden als een formatief evaluatie-onderzoek: het onderzoek heeft tot doel om -op basis van te verzamelen gegevens over de gebruikseffecten van een specifiek onderwijsontwerp- tot aanbevelingen te komen voor het verbeteren van dit ontwerp, cq. het onderwijs en het onderwijsmateriaal over het gekozen thema. In het volgende en tevens laatste hoofdstuk van dit proefschrift wordt nader ingegaan op mogelijkheden hiertoe. In dit hoofdstuk wordt het gebruik van het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' in de klas te beschreven en wordt onderzocht in hoeverre dit leidt tot het realiseren van de (vakinhoudelijke) doelen die in § 5.3 van dit proefschrift zijn omschreven. Gekozen werd voor het verrichten van onderzoek in een realistische onderwijssituatie, wat inhoudt dat het onderwijs werd gevolgd in een setting met een zo 'natuurlijk' mogelijke gang van zaken. Silvermann [1] spreekt in dit verband van onderzoek van 'naturally occurring interaction'. Door biologen zou dit worden getypeerd als 'onderzoek in vivo'. Voor het onderzoek betekende dit een zekere beperking: de onderwijsactiviteiten zouden zo min mogelijk beïnvloed mogen worden door gelijktijdige onderzoeksactiviteiten. In de klassen waar de gegevens verzameld werden, stond het 'gewoon' verzorgen van onderwijs dus centraal en vond het onderzoek plaats als een flankerende activiteit. De keuze om onderzoek 'in vivo' te doen, werd mede ingegeven door de overweging dat dit wellicht leidt tot een grotere geloofwaardigheid van uitspraken aangaande de bruikbaarheid -en daarmee tot de acceptatie- van het materiaal in het onderwijs.

De centrale vraagstellingen van het onderzoek luiden:

hoe hebben leerlingen en docenten het werken met het ontwerp ervaren ?
en

in hoeverre gaan leerlingen bij het werken met het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' in toenemende mate gebruik maken van de centrale begrippen en concepten uit het curriculum ?

Antwoorden op de eerste vraagstelling werden gezocht door aan docenten en leerlingen vragen voor te leggen met betrekking tot hun ervaringen tijdens de lessenreeks en daarbij de aandacht in het bijzonder te richten op de vorm en inhoud van het leerlingenmateriaal en op de gevolgde werkwijze.

Om de tweede vraagstelling te kunnen vertalen in specifieke onderzoeksvragen zijn - op basis van de vakinhoudelijke doelomschrijving van het curriculum (in § 5.3) en de uitwerking en invulling van het ontwerp (in § 5.4)- de volgende te onderzoeken vakinhoudelijke thema's gespecificeerd:

- het systeem/systeemomgevings-concept en het wisselwerkingsconcept,
- structuur-functierelaties in levende systemen,
- biologische regelingen op cel-, organisme- en populatieniveau,
- temperatuurregulatie bij de mens als voorbeeld van een homeostatische regulatie.

Om de beoogde ontwikkeling van kennis over regulatie en homeostase te kunnen volgen, is een onderzoeksofzet gekozen waarbij -zij het in beperkte mate- de verandering van kennis in de tijd bestudeerd kan worden. Daarbij zal met name ook gelet worden op de vaardigheid om deze kennis te gebruiken op een wijze zoals 'experts' (cq. vakbiologen) dat doen. Dit houdt onder andere in dat leerlingen -naast het benoemen en omschrijven van structuren en verschijnselen- in staat zijn om verschillende kenniselementen met elkaar in verband te brengen, verklaringen te geven en voorspellingen te doen.

6.3 Opzet, methoden en condities van het onderzoek

Onderzoeksgroepen

Onderzoeksgegevens konden worden verzameld in drie VWO-klassen van drie scholen voor voortgezet onderwijs in de regio Utrecht. In twee van deze scholen waren docenten werkzaam die hadden meegewerkt aan de ontwikkeling van het onderwijsmateriaal; deze docenten waren dus in zekere zin insiders. De derde docent was geïnteresseerd in het ontwikkelde produkt en wilde graag het materiaal beproeven. Bij de selectie van de onderzoeksgroepen gold als globaal criterium dat de deelnemende klas door de docent als een 'doorsnee-klas' werd gezien. De onderzoeksgroepen bestonden uit klassen van resp. 18, 29 en 19 leerlingen.

Verzamelen van gegevens: methoden en instrumenten

Gegevens over het *verloop van de lessenreeks* zijn verzameld door de onderzoeker, die een deel van de lessen bijwoonde en daarbij met name aandacht schonk aan de wijze waarop docent en leerlingen met het materiaal werkten. *Ervaringen van leerlingen* met het materiaal werden aan het einde van de lessenreeks verzameld met behulp van een schriftelijke enquête. Voorts waren logboeknotities van *docenten* beschikbaar, gemaakt tijdens de lessenreeks. Hierover wordt gerapporteerd in § 6.4. De *onderzoeksgegevens over kennisontwikkeling* zijn verzameld tijdens of in aansluiting op de lessen. Hierin werden hele klassen betrokken waardoor het mogelijk werd om over kwalitatieve gegevens kwantitatieve uitspraken te doen met een hoge betrouwbaarheids- en geldigheidswaarde. Om de *kennisontwikkeling in de tijd* te volgen, zijn op enkele achtereenvolgende tijdstippen metingen van leerresultaten verricht. Daartoe werd in de eerste plaats aan iedere leerling op drie momenten een werkboek voorgelegd met een aantal opdrachten over regulatie en homeostase. Dit werkboek fungeerde als data-verzamelinstrument aan de hand waarvan de ontwikkeling van leerresultaten van beginniveau tot eindniveau gevolgd kon worden. De schriftelijke reacties van de leerlingen in de werkboeken leverden de gegevens voor dit *longitudinale onderzoek*, dat wordt besproken in § 6.5.

In de tweede plaats werden aanvullende gegevens over leerresultaten verkregen door het proefwerk te analyseren dat door de leerlingen is gemaakt na afloop van de lessenreeks en door deze uitkomsten te vergelijken met uitkomsten van het longitudinale onderzoek. Hier is sprake van een andersoortige momentopname van kennis. Dit onderdeel wordt aangeduid als *onderzoek van proefwerkresultaten* en komt aan de orde in § 6.6.

Conditie van het onderzoek

Zowel met de betrokken docenten als met de leerlingen zijn -voorafgaand aan de lessenreeks- de onderzoeksprocedures en de onderzoeksactiviteiten besproken. Doel hiervan was om -gezien het 'in vivo'-karakter van de onderzoeksomgeving- een aantal condities cq. variabelen in de drie scholen zo uniform mogelijk en daarmee vergelijkbaar te maken, en zo een (meer) eenduidige interpretatie van de resultaten mogelijk te maken. Met het oog hierop werden voorafgaand aan de lessenreeks met elk van de *docenten* afspraken gemaakt waarbij het -naast praktische zaken rond de planning van de lessenreeks en de flankerende onderzoeksactiviteiten- met name ging over de wijze waarop met het materiaal gewerkt diende te worden en de rolverdeling tussen de verschillende participanten: de leerlingen, de docent en de onderzoeker. Kernafpraak hierbij was dat het leerlingenmateriaal als leidraad zou moeten fungeren voor de activiteiten van de leerlingen. Deze zouden daarbij zoveel mogelijk zelfstandig (individueel en/of in kleine groepjes) werken met het materiaal, waarbij de taak van de docent zou bestaan uit het begeleiden en ondersteunen van deze activiteiten, en uit het communiceerbaar maken en (laten) samenvatten van ideeën en conclusies die in de klas ontstonden tijdens het werken met het materiaal.

Deze afspraken waren er op gericht om de inhoudelijke beeld- en kennisvorming van de leerlingen primair en zoveel mogelijk vanuit het materiaal te laten plaatsvinden en om de docent daarbij in een ondersteunende rol te plaatsen. De afspraken hadden ook tot doel om te bereiken dat de docenten hun rol zoveel mogelijk op dezelfde wijze vervulden en dat het effect van de docent-variabele zo beperkt mogelijk bleef. Uiteraard bleef de eigen onderwijsstijl en invulling -zowel tijdens de voorafgaande activiteiten met de klas, als tijdens de lessenreeks- een docent-afhankelijke factor. Zo kon bijvoorbeeld regelmatig worden waargenomen dat een van de docenten de leerlingen sterker stimuleerde bij het doordenken van de biologische problematiek dan de andere docenten.

Aan het begin van het onderzoek heeft de *onderzoeker* zichzelf en het onderzoek in elk van de klassen geïntroduceerd. Daarbij werden de *leerlingen* geïnformeerd over het onderzoekstraject en de onderzoeksactiviteiten en werd aangegeven wat in verband daarmee van hen werd verwacht. Het lesmateriaal en de manier waarop ermee gewerkt zou worden, is toegelicht en aan de leerlingen is gevraagd om actief mee te werken aan het leveren van zoveel mogelijk gegevens. Hierbij is er de nadruk op gelegd dat de gegevens die via het werkboek werden verzameld niet zouden worden gebruikt voor een cijfermatige beoordeling, zoals in het kader van rapportcijfers. Ook bij de introductie van het werkboek op volgende onderzoeksmomenten is dit nogmaals expliciet vermeld. Met deze oproep werd beoogd om een maximale respons te genereren: alles wat leerlingen weten en denken in verband met een bepaalde vraag of opdracht was welkom. De onderzoeker heeft een deel van de lessen gevolgd, maar tijdens de lessenreeks geen inhoudelijke inbreng gehad; zijn rol beperkte zich tot het observeren en beschrijven van het verloop van de bijgewoonde lessen.

Het leerlingmateriaal is eerst -in het voorjaar van 1992- beproefd in de scholen 1 en 2 en enige maanden later in school 3. Op grond van de gebruikservaringen in school 1 en 2 werd geconcludeerd dat in het materiaal geen substantiële veranderingen noodzakelijk waren: de versie waarmee op school 1 en 2 en die waarmee op school 3 is gewerkt, waren nagenoeg gelijk aan elkaar. In de versie die op school 3 is gebruikt, waren slechts kleine wijzigingen aangebracht. Deze betroffen voornamelijk de opmaak en indeling: het aantal paragrafen was verminderd door enkele korte paragrafen samen te voegen. De volgorde en inhoud van het materiaal bleef daarbij nagenoeg ongewijzigd. Aangezien er in de drie scholen met hetzelfde onderwijsmateriaal is gewerkt, is er bij de bewerking van de onderzoeksgegevens geen onderscheid gemaakt tussen school 1 en 2 enerzijds en school 3 anderzijds.

6.4 Procesevaluatie en gebruikerservaringen

Gegevens over het verloop van de lessenreeks werden door de onderzoeker verzameld tijdens de lessen en aan de hand van de logboeknotities van docenten. De ervaringen van leerlingen werden geïnventariseerd via een schriftelijke enquête.

6.4.1 Verloop van de lessenreeks

Om inzicht te krijgen in de tijd die nodig was voor uitvoering van de lessenreeks is bijgehouden welke paragrafen uit het lesmateriaal tijdens opeenvolgende lesuren aan de orde kwamen (Afb.6.1.a). Vervolgens is berekend hoeveel lesuren aan elk van de drie organisatieniveaus zijn besteed (Afb.6.1.b).

Afb.6.1.a Overzicht van de per school per lesuur behandelde paragrafen

Lesuur	School 1	School 2	School 3
1	1,2 i+l	1,2,3 i+l	1 i+l
2	1,2	1,2,3,4	1,2
3	3	5	3
4	4	6	4
5	5	7,8	5
6	6,7	8,9	6,7
7	8,9	10	8
8	10	10	9
9	10	11	10
10	11	11	11
11	11	-	-

De cijfers in de 'School'-kolommen zijn paragraafnummers; 'i + l' betekent dat werd gestart met een introductie van het onderzoek en dat vervolgens van de aangegeven paragraaf de teksten werden gelezen.

Uit het voorgaande overzicht blijkt een beperkte spreiding in de tijd die in elk van de drie klassen is gebruikt voor het doorwerken van het materiaal. Op dit punt waren voorafgaand met de docenten geen afspraken of inschattingen gemaakt.

Afb.6.1.b Overzicht van de per school bestede lesuren per organisatie-niveau (cluster van paragrafen)

Paragraaf	Niveau	Lesuren in School 1	School 2	School 3
1-4	Cel	4	2	4
5-8	Organisme	2,5	3,5	3
9-11	Populatie	4,5	4,5	3
Totaal		11	10	10

Uit afbeelding 6.1.b blijkt dat aan het celniveau (§ 1-4) in school 1 en school 3 relatief meer tijd werd besteed dan in school 2. In deze paragrafen wordt het (osmotisch) functioneren van een eencellig organisme in wisselwerking met zijn omgeving uitgewerkt. Uit de notities van de onderzoeker blijkt dat dit aspect met name in de scholen 1 en 3 veel vragen en discussie opleverde. In school 2 hoefde hiervoor minder tijd ingeruimd te worden, wat er op wijst dat in deze klas de inhoud goed aansloot op de reeds bij leerlingen aanwezige (voor-)kennis over dit aspect.

Bij dit laatste kan verwezen worden naar uitspraken van bijv. McKenna & Hand [2], geciteerd in § 3.3.2, waarin kennis van diffusie en osmose als een (begin)voorwaarde wordt genoemd voor het begrijpen van regulatiemechanismen, en naar uitspraken van Johnstone & Mahmoud [3] aangaande de moeilijkheidsgraad van deze thematiek. Aan deze beginvoorwaarde lijkt in de school 1 en school 3 in mindere mate te zijn voldaan. De paragrafen over regulatie op organismeniveau (§ 5-8) hebben gemiddeld ca. 3 lesuren gevraagd (2,5 -3,5 u.), waarbij in alle scholen aan de paragraaf over het basaalmetabolisme (§ 5) ca. 1 lesuur is besteed. Aan de paragrafen over regulatietheorie en regulatie op populatieniveau (§ 9-11) is in de scholen 1 en 2 meer tijd besteed dan in school 3. Mogelijk hangt dit samen met het feit dat dit organisatieniveau in laatstgenoemde school kort tevoren al aan de orde was geweest.

6.4.2 Ervaringen van leerlingen

Om ervaringen van leerlingen met het materiaal in kaart te brengen, is een enquête opgesteld die direct na afloop van de lessenreeks aan de leerlingen in school 1 en school 2 is voorgelegd. In school 3 konden geen vergelijkbare gegevens worden verzameld: hier eindigde de lessenreeks direct voor een schoolvacantie en was er geen gelegenheid meer om de enquête voor te leggen.

In de enquête werd eerst per paragraaf gevraagd naar de *moeilijkheidsgraad*, de *mate van interessantheid* en de *mate van duidelijkheid*. In 10 vervolgvragen werden de meningen van leerlingen verkend aangaande de *inhoud en vorm van het materiaal en de werkwijze in de klas*. De leerlingen konden hun mening hierover geven door te scoren op een vijf-puntsschaal. Aan de enquête is in school 1 (S1) door 16 leerlingen, in school 2 (S2) door 23 leerlingen deelgenomen.

Waardering van het leerlingenmateriaal per paragraaf

De waardering van de paragrafen in het leerlingenmateriaal is samengevat in afbeelding 6.2. In dit overzicht worden per paragraaf kolomsgewijs de gemiddelde scores vermeld op de genoemde vijf-puntsschaal. Hieruit blijkt welke paragrafen -in relatieve zin- respectievelijk als 'moeilijk', 'interessant' en 'duidelijk' scoren.

Uit afbeelding 6.2 kan worden afgeleid dat de verschillen in gemiddelde scores met betrekking tot de ervaren *moeilijkheidsgraad* tussen school 1 en school 2 gering zijn; bij 10 paragrafen is het verschil in score 0.3 of minder, alleen bij paragraaf 2 is het verschil 0.7. Bij alle paragrafen wordt aan de 'makkelijke' kant van de schaal gescoord: de gemiddelde score per paragraaf loopt van 0,7 tot 2,3. De leerlingen van beide scholen hebben de paragrafen 1, 5 en 9 als de (relatief) makkelijkste ervaren, de paragrafen 7 (over bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem bij de mens), 8 (over koorts), 10 (over regulatie in populaties) en 11 (over regulatie in insectenkolonies) worden als de (relatief) minst makkelijke gescoord.

Uit de individuele scores kon worden opgemaakt dat leerlingen in totaal 39 (van de 429) maal de hoogste waarde op de vijf-puntsschaal ('moeilijk') hebben gekozen, waarvan 21 maal bij de paragrafen 7, 8, 10 en 11.

H.6 Werken met 'Geregeld overleven'

Afb.6.2 Gemiddelde waardering van paragrafen uit het lesmateriaal door leerlingen

par	moeilijk-makkelijk		interessant-saai		duidelijk-onduidelijk	
	5	1	5	1	5	1
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
1	0,8	1,1	3,1	3,0	3,6	4,0
2	1,4	0,7	3,4	3,2	4,1	4,2
3	1,7	1,4	3,2	3,3	3,9	3,9
4	1,3	1,6	3,8	3,3	3,9	3,9
5	1,1	1,3	3,4	3,6	4,2	4,1
6	1,6	1,8	4,1	4,2	4,1	4,1
7	1,9	2,1	4,1	4,0	3,3	3,5
8	2,1	2,2	3,9	3,9	3,9	3,6
9	1,1	1,3	3,7	3,2	3,9	3,6
10	2,3	2,0	4,1	3,6	3,2	3,6
11	1,9	2,2	3,9	3,5	3,7	3,5

Met betrekking tot de *mate van interessantheid* is er bij 7 paragrafen een gering verschil in gemiddelde score tussen beide scholen; dit verschil bedraagt maximaal 0.2. Bij vier paragrafen (4, 9, 10 en 11) is het verschil in score maximaal 0.5, waarbij in alle gevallen de score in school 1 (S1) hoger is dan in school 2 (S2).

Bij alle paragrafen wordt aan de 'interessante' kant van de schaal gescoord: de gemiddelde score per paragraaf loopt van 3,0 tot 4,2.

De leerlingen van beide scholen hebben de paragrafen 6, 7, 8, 10 en 11 als (relatief) de meest interessante ervaren, de paragrafen 1, 2, 3 en 5 scoren in beide scholen als (relatief) het minst interessant.

Uit de individuele scores kon worden opgemaakt dat leerlingen in totaal 25 (van de 429) maal de laagste waarde op de vijfpuntsschaal ('saai') hebben gekozen, waarvan 19 maal bij de paragrafen 1, 2, 3 en 5.

Ten aanzien van de *mate van duidelijkheid* is er bij 9 paragrafen een gering verschil in gemiddelde score tussen beide scholen; dit verschil is maximaal 0.3. Bij 2 paragrafen (1 en 10) is het verschil in score 0.4.

Bij alle paragrafen wordt aan de 'duidelijke' kant van de schaal gescoord: de gemiddelde score per paragraaf loopt van 3,2 tot 4,2.

De leerlingen van beide scholen hebben de paragrafen 2, 5 en 6 als (relatief) het meest duidelijk gescoord, de paragrafen 7, 10 en 11 scoren in beide scholen als (relatief) het minst duidelijk.

Uit de individuele scores kon worden opgemaakt dat leerlingen in totaal 6 (van de 429) maal de laagste waarde op de vijfpuntsschaal ('onduidelijk') hebben gekozen, verspreid over 6 paragrafen.

Samenvattend komt als gemiddeld oordeel in beide scholen naar voren dat, terwijl de leerlingen het lesmateriaal aan de *makkelijke* kant vonden, de inhoud door hen overwegend als *interessant* en *duidelijk* is beoordeeld. Opvallend daarbij is dat in

Regulatie en homeostase als onderwijsthema

beide scholen de paragrafen die als relatief het minst makkelijk en duidelijk zijn getypeerd tegelijkertijd gemiddeld wel als meer interessant worden beoordeeld: kennelijk werd de (nieuwe) uitdaging die deze paragrafen bieden door veel leerlingen positief gewaardeerd.

Uit deze uitkomsten komen geen duidelijke aanwijzingen naar voren met betrekking tot paragrafen waarin veranderingen of verbeteringen nodig zijn.

Meningen over lessenreeks en lesmateriaal

In dit deel van de enquête werden aan de leerling tien uitspraken voorgelegd met betrekking tot de inhoud en de vorm van het materiaal en de werkwijze in de klas.

Met name kwamen daarbij aan de orde aspecten als de ervaren relevantie, de aansluiting op eigen kennis(niveau), de duidelijkheid van het materiaal, de samenwerking met medeleerlingen en de rol van de docent.

De leerling kon op een vijfpuntsschaal bij zes uitspraken aangeven in hoeverre hij het eens of oneens was met de betreffende uitspraak, terwijl bij vier uitspraken door het scoren op genoemde schaal opinies van andere aard konden worden uitgedrukt.

De uitkomsten worden hierna weergegeven (Afb.6.3).

Afb.6.3 / Meningen van leerlingen over lessenreeks en lesmateriaal

1. De lessenreeks bevatte voor mij veel nieuwe informatie

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	2	9	4	1	-	3,8
S2	8	7	6	1	1	3,9

2. De teksten waren makkelijk leesbaar

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	4	9	3	-	-	3,7
S2	6	11	5	1	-	4,0

3. Het werken in groepjes vond ik

	heel nuttig ----- niet nuttig					gem
	5	4	3	2	1	
S1	5	8	1	-	2	3,9
S2	2	6	10	4	1	3,2

4. Het lesmateriaal is

	veel te uitvoerig ----- veel te beknopt					gem
	5	4	3	2	1	
S1	-	3	8	5	-	2,9
S2	1	3	10	6	3	2,7

5. De stof sloot goed aan op mijn kennisniveau

	veel te moeilijk ----- veel te makkelijk					gem
	5	4	3	2	1	
S1	-	4	7	5	-	2,9
S2	-	1	14	8	-	2,7

6. Het was beslist nodig dat de leraar regelmatig zaken verduidelijkte

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	2	9	3	2	-	3,6
S2	4	13	4	2	-	3,8

7. Tijdens deze lessenreeks heb ik veel geleerd

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	2	9	3	2	-	3,6
S2	4	11	6	2	-	3,7

8. De opdrachten waren

	te moeilijk ----- te makkelijk					gem
	5	4	3	2	1	
S1	-	6	9	1	-	3,3
S2	-	2	14	7	-	2,8

9. Dit lesmateriaal kun je doorwerken zonder hulp van de leraar

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	-	2	1	10	3	2,1
S2	2	3	1	10	6	2,2

10. Door met elkaar over de opdrachten te praten werd de stof veel duidelijker

	zeer mee eens ----- zeer mee oneens					gem
	5	4	3	2	1	
S1	3	9	-	3	1	3,6
S2	4	12	5	2	-	3,8

Uit de voorgaande uitkomsten blijkt dat *de lessenreeks* voor het merendeel van de leerlingen *veel nieuwe informatie* bevatte en dat ze er *veel van geleerd* hebben (vr.1, gem.score resp. 3,8/3,9, en vr.7, gem.score resp.3,7/3,7).

In verband met de *aansluiting* van de aangeboden stof op de eigen kennis is de score

'gemiddeld' wat kan worden opgevat als adequaat (vr.5, gem.score resp. 2,9/2,7). Op de vraag naar de *moeilijkheidsgraad van de opdrachten* scoren leerlingen in school 1 (S1) wat meer aan de moeilijke kant, terwijl in school 2 (S2) de score naar de makkelijke kant neigt (vr.8, gem.score resp.3,3/2,8).

In verband met de *duidelijkheid van het materiaal* zijn op beide scholen leerlingen positief over de *leesbaarheid* van de teksten in het lesmateriaal. Uit de score kan worden opgemaakt dat de leerlingen van S2 er minder moeite mee hebben dan die van S1 (vr.2, gem.score resp. 3,7/4,0). De *omvang* van het lesmateriaal scoort gemiddeld, wat betekent dat het materiaal noch als (te) uitvoerig noch als (te) beknopt is ervaren (vr.4, gem.score resp. 2,9/2,7).

Met betrekking tot gevolgde *werkwijzen* scoort het *werken in groepjes* in school 1 (S1) duidelijk positief, in school 2 (S2) 'neutraal' (vr.3, gem.score resp.3,9/3,2).

Het *met elkaar erover praten* wordt positief beoordeeld (vr.10, gem.score 3,6/3,8).

De lagere waardering in school 2 (S2) voor het werken in groepjes (vr.3) dan in school 1 (S1) wijst er mogelijk op dat de groepsmatige aanpak door de leerlingen in S2 wel werd gewaardeerd, maar dat deze leerlingen vooral de inhoudelijke discussies (vr.10) en daarmee het nuttig effect van deze setting van belang vonden.

Met betrekking tot de *rol van de docent* werd gevraagd of regelmatig *verduidelijking nodig* was door de docent. In beide scholen is het antwoord hierop duidelijk bevestigend (vr.6, gem.score resp. 3,6/3,8). Hiermee in overeenstemming was dat de leerlingen op beide scholen het duidelijk oneens waren met de uitspraak dat je het materiaal kunt doorwerken *zonder hulp van de leraar* (vr.9, gem.score resp. 2,1/2,2).

6.4.3 Ervaringen van docenten

De docenten van school 1 en 2 hebben regelmatig aantekeningen gemaakt over het verloop van de lessen en over het gebruik van het leerlingenmateriaal. Bij bestudering van deze notities kwamen nauwelijks schoolspecifieke punten naar voren. De reacties van beide docenten worden hierna samengevat.

In opmerkingen over het *verloop van de lessen* worden door de docenten regelmatig de vooraf door hen ingeschatte en de werkelijk benodigde tijd met elkaar vergeleken (zie voor dit laatste ook Afb.6.1). De docent van S1 signaleerde in dit verband dat het werken aan § 1 en 2 uit het onderwijsmateriaal veel meer tijd vroeg dan hij had verwacht, maar dat hij bewust de groepen een eigen tempo liet aanhouden, om ze zelf (individueel of in groepen) diepgaand met de inhoud te laten werken. Hij spreekt hier van 'zeer zinvolle gesprekken'. De docent van S2 meldt dat § 1 en 2 snel worden doorgewerkt, en ook dat de manier waarop hij op de stof ingaat lossier is dan gewoonlijk; hij geeft meer ruimte tot meningsvorming.

In de aantekeningen van beide docenten worden regelmatig opmerkingen gemaakt over *gesprekssituaties* tussen leerlingen onderling en van de docent met de klas. Deze werden getypeerd als 'zeer zinvolle gesprekken', 'goede gesprekken/verrassende redeneraties', 'leuke gesprekken', 'goed inhoudelijk gesprek', 'prima groepsgesprekken', 'discussie leverde veel op' etc. Hoewel aanvankelijk een lichte scepsis blijkt

aangaande de verlangde *terughoudende rol* kijken beide docenten hier tijdens de lessenreeks in toenemende mate positief tegenaan. Zo wordt gemeld dat de 'leerlingen ingespeeld raken op de werkwijze, wat blijkt uit de manier waarop ze de stof bevragen, vragen stellen etc.', uit 'zelfstandig vooruit werken en kijken in het materiaal' etc. Ook wordt opgemerkt dat de 'groepen goed werken'. Uit de notities blijkt dat de docenten regelmatig op afroep met leerlingen of groepjes leerlingen in gesprek raakten over inhoudelijke aspecten of opdrachten. Het accent lag hierbij op het stimuleren van de inhoudelijke gesprekken tussen de leerlingen onderling en niet op het oplossen van problemen of verduidelijken van het materiaal.

Voor wat betreft de *inhoud en opzet* van het materiaal blijkt uit de aantekeningen van de docenten dat er geen problemen zijn met de grote lijnen van het materiaal.

Het uitproberen van het materiaal in de klas leidt wel tot enkele suggesties. Deze betreffen kleine redactionele details, een figuur die als overbodig wordt ervaren, en de plaats van een opdracht in de leerlingentekst.

6.4.4 Conclusies, beantwoording van de vraagstelling

Hierna worden de conclusies ten aanzien van de eerste onderzoeksvraagstelling (§ 6.2) getrokken. Ter beantwoording van de deelvraag hoe *leerlingen* het werken met het ontwerp hebben ervaren, kunnen de uitkomsten van de leerlingenenquete in school 1 (S1) en school 2 (S2) als volgt worden samengevat.

In beide scholen reageren de leerlingen duidelijk *positief* op enquetevragen over de *inhoud* en *opbrengst* van de lessenreeks (vr. 1 & 7). Ditzelfde geldt ook voor de *duidelijkheid* en *omvang* van het lesmateriaal (vr. 2 & 4).

De scores op vragen over de *aansluiting* van de inhoud op het eigen kennisniveau en de *moeilijkheidsgraad* schommelen in beide scholen rond het midden van de scoringsschaal (vr. 5 & 8): leerlingen zijn noch duidelijk positief noch negatief, wat er op wijst dat op deze punten *geen bijzondere problemen* zijn ervaren.

Voor wat betreft de gehanteerde werkwijzen scoren de leerlingen *positief* op het *werken in groepen* (vr. 3 & 10), en geven ze aan dat bij het werken met het materiaal *ondersteuning door de docent noodzakelijk* is (vr. 6 & 9).

Ten aanzien van de *inhoud van het lesmateriaal* hebben de leerlingen minder waardering voor de paragrafen die betrekking hebben op het celniveau dan voor die op het organisme- en populatieniveau. Eenzelfde beeld is er ook ten aanzien van paragrafen met een (meer) theoretische inhoud. Zo hebben leerlingen verhoudingsgewijs minder waardering voor de paragrafen waarin de regulatietheorie en de regelkring worden behandeld dan voor de paragrafen met een meer concrete inhoud zoals die over de regeling van de lichaamstemperatuur en koorts bij de mens en over de regulatie van populaties van hazen en lynxen, en van bijen. Opvallend hierbij is nog dat een ervaren moeilijkheidsgraad de leerlingen er niet van weerhoudt om de inhoud van zo'n paragraaf positief te waarderen.

Uit de reacties van de *docenten* van beide scholen komen in verband met de

hoofddijnen van het ontwerp en de inhoud en opzet van het leerlingmateriaal geen specifieke suggesties voor wijziging of verbetering naar voren.

Met betrekking tot de inhoud van het lesmateriaal vormen de ervaringen van de docent van school 1 met de paragrafen over (osmo-)regulatie op celniveau een bevestiging van de opinies van leerlingen hierover.

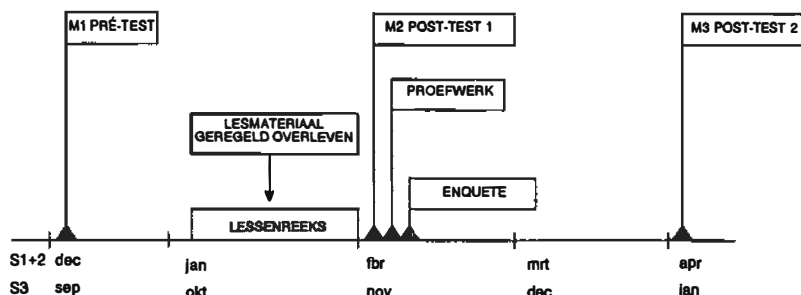
Over de door hen -ook in verband met het flankerende onderzoek- gevolgde *werkwijzen in de klas* zijn de docenten naarmate de lessenreeks vordert in toenemende mate *positief*. In dit verband is nog vermeldenswaard dat uit de notities van de docenten bleek dat de door leerlingen gewenste ondersteuning door de docent niet samenhang met onduidelijkheden in het materiaal, maar betrekking had op aanvullende inhoudelijke inbreng van de docent bij gesprekken van leerlingen.

6.5 Longitudinaal onderzoek

6.5.1 Vraagstellingen en werkwijze

Het longitudinale onderzoek diende om de effecten van de onderwijsinterventie te volgen en te registreren over een periode van ca. drie maanden (Afb. 6.4). Hiertoe is een dataverzamelingsinstrument ontwikkeld waarmee op drie momenten (M1, M2, M3) gegevens verzameld werden: voorafgaand aan (pré-test, M1), direct na afloop van (post-test 1, M2) en ca. twee maanden na afloop van de onderwijsinterventie (post-test 2, M3). Met behulp van de pré-test werd de voorkennis (cq. beginsituatie) van de leerling zichtbaar gemaakt, terwijl aan de hand van de laatste meting (post-test 2) vastgesteld kon worden of een eerder gebleken positieve kennisontwikkeling (via post-test 1) blijvend is op langere termijn. Post-test 2 heeft dus het karakter van een retentie-test. Het ontwikkelde dataverzamelingsinstrument bestaat uit een werkboek met een set vragen en opdrachten, dat drie maal -op de in Afb. 6.4 aangegeven tijdstippen M1, M2 en M3- aan de leerlingen is voorgelegd.

Afb.6.4 / Onderwijsinterventie- en onderzoekstraject



Op de vragen en opdrachten moest schriftelijk worden gereageerd. Deze schriftelijke vorm werd gekozen vanuit de aanname dat leerlingen vertrouwd zijn met deze werkwijze: ze werden door middel van vragen, problemen en stellingen uitgenodigd om over regulatie en homeostase na te denken, en vervolgens hun kennis hierover schriftelijk vast te leggen. Voor deze verzamelmethode werd ook gekozen omdat daarmee de leerlingreacties op een gestandaardiseerde wijze verzameld, verwerkt en geanalyseerd kunnen worden. De omvang van de set opdrachten was zodanig dat voor het invullen van het werkboek 30 - 45 minuten nodig zouden zijn.

Voor het longitudinale onderzoeksdeel zijn -uitgaande van de centrale vraagstelling en in aansluiting op de te onderzoeken vakinhoudelijke thema's die in § 6.2 werden omschreven- de volgende onderzoeksvragen (OZ) geformuleerd:

Welke kennisontwikkeling wordt gemeten ten aanzien van

-het hanteren van het systeem/systeemomgevingsconcept cq. wisselwerkingsconcept in verband met het overleven van een organisme ? (OZ 1),

-het benoemen en met elkaar in verband brengen van kenmerken en functies van levende systemen ? (OZ 2),

-de kennis van voorbeelden en principes van regulatie op de verschillende organisatie-niveaus ? (OZ 3),

-de bouw en de werking van het temperatuurregulatiesysteem bij de mens, en het toepassen van deze kennis bij het duiden van het verschijnsel koorts ? (OZ 4).

Het eerste en tevens het belangrijkste onderdeel (A) van het *werkboek* (c.q. dataverzamelinstrument) bestaat uit een aantal opdrachten, die een operationalisering zijn van bovenstaande vraagstellingen. Bij deze operationalisering is een formulering en inkleding gekozen waarmee -naar werd aangenomen- leerlingen vertrouwd zijn en waarmee een breed scala van reacties zou worden opgeroepen. Een mogelijk nadeel hiervan was dat dit in de analysefase van het onderzoek de ontwikkeling van een hanteerbaar categorieën- cq. codeersysteem zou kunnen bemoeilijken. Met dit onderdeel van het dataverzamelinstrument wordt de ontwikkeling van de *kennis van sleutelbegrippen* onderzocht (§ 6.5.2).

Uitgaande van voorgaande onderzoeksvragen worden in het tweede deel (B) aan de leerlingen de volgende drie biologische *sleutelbegrippen* voorgelegd: wisselwerking tussen organisme en omgeving, biologische regelingen en levend systeem. Met behulp van een eenvoudige associatiemethode wordt bij leerlingen de *vocabulaire* rond deze sleutelbegrippen geïnventariseerd op de drie meetmomenten (§ 6.5.3).

In het derde deel (C) wordt leerlingen gevraagd om uitgaande van de geassocieerde woorden *schema's* van de drie sleutelbegrippen te maken (§ 6.5.4).

6.5.2 Kennis van sleutelbegrippen

6.5.2.1 Doel en instrument

Doel van dit onderdeel was om inzicht te krijgen in de ontwikkeling van kennis van sleutelbegrippen aangaande regulatie en homeostase. Hiertoe werden aan de leerling zeven opdrachten voorgelegd die aansluiten op de hiervoor -in § 6.5.1- omschreven onderzoeksvragen. De kennisaspecten refereren tevens aan de inhoud van het leerlingenmateriaal en er is een spreiding over de verschillende biologische organisatieniveaus. Evenals in het leerlingenmateriaal wordt relatief veel aandacht gegeven aan het organismeniveau. De vakinhoudelijke thematiek uit de onderzoeksvragen (OZ) was als volgt over de opdrachten verdeeld: OZ 1:A1, A2, A6, A7; OZ 2:A1, A7; OZ 3:A1, A3, A6; OZ 4:A3, A4, A5, A7.

Deze opdrachten worden als volgt gekarakteriseerd voor wat betreft de vakinhoud en het organisatieniveau waarop deze aan de orde wordt gesteld en de (cognitieve) vaardigheid:

A1: Celniveau, relatie/wisselwerking cel-celomgeving, verklaring geven voor een empirisch gegeven;

A2: Organismeniveau, principe van continue warmteproductie / basaalmetabolisme, beoordelen van een bewering/hypothese en keuze motiveren;

A3: Organismeniveau, verschijnsel constante lichaamstemperatuur, werking temperatuurregulatiesysteem uitleggen;

A4: Organismeniveau, verschijnsel koorts cq. afwijking van de 'normale' lichaamstemperatuur, omschrijving/definitie geven;

A5: Organismeniveau, werkingsaspect temperatuurregulatiesysteem, beoordelen van twee mogelijke oorzaken voor een uitwendig verschijnsel en keuze motiveren;

A6: Populatie niveau, aantalsregulatie, bewering / verklaring beoordelen en keuze motiveren;

A7: Organismeniveau, extreme stress leidend tot de dood van een organisme, verklaring(en) hiervoor geven.

6.5.2.2 Bewerking en analyse van de gegevens

De gegevens die bij dit onderdeel zijn verzameld, werden toegankelijk en inzichtelijk gemaakt door een dekkend en betrouwbaar *categorieënsysteem* per opdracht te ontwikkelen. Als uitgangsmateriaal hiervoor werden de gegevens van post-test 1 genomen, dwz. meetmoment 2. Hieraan ligt de veronderstelling ten grondslag dat op dit meetmoment de rijkdom en spreiding aan reacties het grootst zal zijn, aangezien post-test 1 direct na afloop van de onderwijsinterventie aan de leerlingen is voorgelegd. Deze aanname werd ondersteund door de uitkomsten van een onderzoek waarbij -als steekproef uit de drie populaties- in school 1 werd nagegaan hoeveel woorden per opdracht per meetmoment werden gebruikt (Afb. 6.5)

Als eerste stap bij het ontwikkelen van het categorieënsysteem zijn de oorspronkelijke

leerlingteksten bekeken op overeenkomstige antwoorden en reacties. Op grond hiervan zijn categorieën van antwoorden gedefinieerd.

Deze werden vervolgens geordend naar toenemende mate van overeenstemming met 'expert knowledge'. Om tot een betrouwbare ordening te komen werden vak-experts geconsulteerd: de ordening kwam tot stand in overleg tussen de onderzoeker en vakbiologen.

Met behulp van dit categorieënsysteem werd de vakinhoudelijke kwaliteit van de antwoorden scorebaar en onderling vergelijkbaar. De ordening van categorieën volgens toenemende expert knowledge leidde tot een rangorde-schaal met ordinaal karakter. Deze werd ook gebruikt om de antwoorden op M1 en M3 te scoren.

Afb.6.5 / Aantal woorden gebruikt per meetmoment per opdracht in school 1

Opdracht	Meetmoment		
	M1	M2	M3
A1	488	547	485
A2	434	397	314
A3	389	554	541
A4	335	456	345
A5	316	392	388
A6	746	592	556
A7	443	451	333
Totaal	3151	3389	2962
Gem ± SD	450 ± 143	484 ± 80	423 ± 103
Relatief	93	100	87

De *betrouwbaarheid van het categorieënsysteem* werd onderzocht door de leerlingantwoorden van de drie meetmomenten door twee beoordelaars onafhankelijk van elkaar te laten scoren, en vervolgens met behulp van het statistiekprogramma SPSS per vraag 'Cohen's kappa' te berekenen. Deze 'kappa' geeft aan de mate van interbeoordelaarsovereenstemming. Een hoge mate van overeenstemming tussen de beoordelaars wijst er op dat het scoringsinstrument betrouwbaar kan worden geacht. De uitkomsten die per vraag werden verkregen, zijn vermeld in afbeelding 6.6, kolom kappa 1. Deze uitkomsten waren aanleiding om een (vervolg-)procedure in te bouwen, om de betrouwbaarheid van de scores te vergroten. Daartoe werden de scores van beide beoordelaars onderling vergeleken, waarna de scores die verschillend bleken, werden besproken. Bij deze bespreking werden de verschillende argumenten en interpretaties uitgewisseld. Dit leidde in een aantal gevallen tot nadere overeenstemming tussen de onderzoekers. Niet gepoogd werd om elkaar te overtuigen: in enkele gevallen bleven de verschillen in interpretaties naast elkaar bestaan en werd het verschil in score tussen de onderzoekers gehandhaafd.

De uitkomsten van de kappa-berekening na deze vervolprocedure zijn per vraag weergegeven in afbeelding 6.6, kolom kappa 2.

Deze tonen een interbeoordelaarsovereenstemming die duidelijk hoger is dan 0.80, een waarde die 'over het algemeen voldoende wordt geacht voor onderzoeksdoel-einden' (vgl. Popping [4], citaat in Admiraal [5]). De vervolprocedure leidde er toe dat fouten in het lezen van de antwoorden en in het gebruik van de categorieën werden opgespoord en gecorrigeerd. Na codering van alle gegevens zijn in de vervolbewerkingen alleen de gegevens betrokken van de leerlingen die op elk van de drie meetmomenten het werkboek (c.q. dataverzamelingsinstrument) hadden ingevuld; de invloed van ontbrekende waarden op de uitkomsten over kennisontwikkeling werd daarmee geëlimineerd.

Afb. 6.6 / Kappa-waarden (Cohen's kappa) voor de codering van de kennis m.b.t. de opdrachten

opdracht	kappa 1	kappa 2
A1	0.68 ($0.61 \leq k1 \leq 0.75$)	0.93 ($0.85 \leq k2 \leq 1.00$)
A2	0.76 ($0.69 \leq k1 \leq 0.83$)	0.95 ($0.90 \leq k2 \leq 1.00$)
A3	0.84 ($0.76 \leq k1 \leq 0.91$)	0.94 ($0.88 \leq k2 \leq 1.00$)
A4	0.86 ($0.78 \leq k1 \leq 0.93$)	0.94 ($0.88 \leq k2 \leq 1.00$)
A5	0.72 ($0.62 \leq k1 \leq 0.82$)	0.89 ($0.81 \leq k2 \leq 0.96$)
A6	0.77 ($0.70 \leq k1 \leq 0.85$)	0.92 ($0.86 \leq k2 \leq 0.98$)
A7	0.78 ($0.68 \leq k1 \leq 0.88$)	0.91 ($0.81 \leq k2 \leq 1.00$)

Tussen haakjes aangegeven: 95% betrouwbaarheidsinterval voor kappa.

Om inzicht te krijgen in de *kennisontwikkeling in de drie onderzoeksgroepen* zijn per opdracht frequentietabellen per school per meetmoment gemaakt. Tevens werden dergelijke tabellen per opdracht voor de hele populatie vervaardigd.

Per opdracht werd ook de verandering in *kennis per leerling* geanalyseerd. Bij iedere leerling werd het verschil tussen beginkennis (voorafgaand aan de lessenreeks, op M1)) en eindkennis (ca. drie maanden na afloop van de lessenreeks, op M3) vastgesteld aan de hand van de veranderingen in score.

6.5.2.3 Opdrachten en categorieënsysteem

Hierna worden de zeven opdrachten beschreven en toegelicht: per opdracht wordt de tekst gegeven die aan de leerlingen is voorgelegd en het categorieën-systeem dat is ontwikkeld om de leerlingenantwoorden te coderen. Bij elke antwoordcategorie worden voorbeelden gegeven van 'typische' leerlingreacties. Bij elk citaat is het 'onderzoeksnummer' van de betreffende leerling vermeld.

Opdracht A 1

Typering: Deze opdracht heeft betrekking op het celniveau. In het leerlingenmateriaal (§ 1, vraag 2b) kwam aan de orde dat de meeste (soorten) dierlijke eencelligen die in zoet water leven in het bezit zijn van een contractiele vacuole, terwijl eencelligen in zeewater hierover meestal niet beschikken. Aan de bouw en de specifieke functie van de contractiele vacuole wordt in de leerlingentekst uitvoerig aandacht besteed.

Tekst: *De meeste soorten eencellige organismen leven in zoet water. Probeer hiervoor een verklaring te bedenken.*

Categorieën: Met score 1 zijn antwoorden getypeerd waarin de begrippen 'osmose' (OS) en/of 'contractiele vacuole' (CV) op onjuiste wijze worden gebruikt. Score 2 betreft antwoorden die weliswaar plausibel zijn maar waarin uitsluitend de 'fysische situatie' als verklaring wordt gebruikt. Er is sprake van (een vorm van) expert knowledge als de leerling -in aansluiting op het leerlingenmateriaal- in de verklaring voor de gegeven hypothetische situatie op een correcte manier de werking van de contractiele vacuole (functionele structuur) omschrijft (score 3), of deze gebruikt in combinatie met een correcte typering van osmotische situatie (OS SIT) of proces (OS PRO),(functionele verklaring, score 4).

0 = Anders dan

1 = Osmose / CV —

Uitleg of verklaring waarbij 'osmose' of 'contractiele vacuole' verkeerd worden gebruikt, bijvoorbeeld:

'In zoet water komen geen hoge concentraties voor van bepaalde stoffen die voor een eencellig organisme fataal kunnen zijn' (2126/M2);

'Dat komt omdat in zoet water de concentratie van het water lager is, zodat het makkelijker opgenomen en afgegeven kan worden' (1101/M3)

2 = OS SIT/PRO

Uitleg mbv. osmose (of omschrijving hiervan) waarbij het concentratieverschil als verklaring wordt gegeven; osmotische situatie of proces correct getypeerd, bijvoorbeeld:

'Zoetwater heeft een lage osmotische waarde. In zout water zal de cel leeglopen' (2109/M3);

'Als eencelligen in zout water zouden leven zouden ze uitdrogen omdat het milieu buiten hem geconcentreerder is dan hijzelf. Hij zou voortdurend vocht moeten geven aan het omliggende milieu (1118/M1).

3 = CV

Uitleg of verklaring waarbij wordt aangegeven dat de contractiele vacuole een rol speelt, bijvoorbeeld:

'Bij eencellige organismen is er een contractiele vacuole, deze neemt water op en pompt het eruit (2114/M3)

4 = OS SIT/PRO + CV

Uitleg mbv. osmose (of omschrijving hiervan) waarbij de osmotische situatie wordt omschreven, en ook de specifieke rol van de contractiele vacuole is aangeduid; osmotische situatie of proces correct getypeerd, bijvoorbeeld:

'In zoet water is de concentratie stoffen laag, en in de cel is de concentratie hoger. Hierdoor stroomt er water de cel binnen. Het overtollige water wordt er echter uit gepompt door kloppende vacuoles, waardoor de hoeveelheid water in de cel ongeveer constant blijft. In zout water is dit veel moeilijker, omdat daar de concentratie veel hoger is. De concentratie in de cel moet dus nog veel hoger zijn anders loopt de cel leeg. De meeste cellen hebben dit niet en gaan dus dood in zout water (2127/M2);

'De meeste eencelligen hebben een contractiele vacuole. De concentratie opgeloste stoffen is in zoet water lager dan in zout water. In zout water zou die verschrompelen, in zoet water moeten ze zorgen dat ze niet opzwellen, dit kunnen ze zelf regelen (1106/M3)

Opdracht A 2

Typering: Nagegaan wordt in hoeverre de leerling bekend is met het verschijnsel van continue warmteproductie bij dieren en welke kennis leerlingen hebben over de onderliggende oorzaak hiervan. De opdracht sluit aan op § 5 in het leerlingmateriaal.

Tekst: *Iemand beweert dat in de tropen bepaalde dieren om hun lichaamstemperatuur op peil te houden alleen maar dan warmte produceren als ze te weinig warmte van buiten ontvangen. Is dit juist of onjuist? Motiveer je antwoord.*

Categorieën: Een eerste sortering is gemaakt aan de hand van de keuze voor 'juist' of 'onjuist'. Hierbij wordt aangetekend dat een keuze 'juist' aangeeft dat de leerling *niet* bekend is met het verschijnsel van continue warmteproductie.

Vervolgens werd een verdere indeling van antwoorden gemaakt, waarbij het onderscheid in de kwaliteit van de gegeven antwoorden zichtbaar werd gemaakt.

Expert knowledge komt naar voren in leerlingenreacties met score 7; hier is sprake van een 'biologische verklaring'

0 = Anders dan ... (in de volgende omschrijvingen)

1 = Juist, evt. met toelichting of uitleg, bijvoorbeeld:

'Dat is juist. Indien ze constant warmte zouden ontwikkelen, en zelfs als het *niet* nodig is, zouden ze oververhit raken, met de dood als gevolg. Alleen indien het nodig is produceren de dieren warmte' (1101/M1);

2 = Juist, met herhaling stelling cq.(deel) tekst uit opdracht, bijvoorbeeld:

'Doordat ze warmte van buiten ontvangen hoeven ze minder warmte binnen te produceren dan als het buiten koud is, dus is het juist' (1117/M2);

3 = Juist, met verwijzing naar warmbloedig, koudbloedig o.i.d., bijvoorbeeld:

'Juist; koudbloedige dieren kunnen alleen leven als ze genoeg warmte ontvangen van de zon' (2103/M2);

4 = Onjuist, evt. met toelichting of uitleg, bijvoorbeeld:

'Onjuist, want warmte van buitenaf verwarmt je niet van binnen, je zal dus altijd zelf je binnenste moeten verwarmen' (1102/M1);

'Onjuist. Dieren moeten zich vooral in de tropen beschermen tegen oververhitting: afkoelen soms ook nodig' (1103/M3);

- 5 = **Onjuist**, met herhaling stelling cq. (deel) tekst uit opdracht, bijvoorbeeld:
 'Dit is onjuist, want een dier produceert altijd warmte' (1106/M3);
 'Onjuist, want je produceert altijd wel warmte. Die warmte komt gewoon vrij als je leeft. Je kan geen warmte van buiten ontvangen om te leven' (3108/M2);
- 6 = **Onjuist**, met verwijzing naar warmbloedig, koudbloedig, constante lichaamstemperatuur o.i.d., bijvoorbeeld:
 'Nee, dieren die hun lichaamstemperatuur op peil moeten houden zijn warmbloedig. In warmbloedige dieren vindt altijd verbranding plaats dus niet alleen als ze te weinig warmte ontvangen' (3112/M2);
 'Onjuist, dieren hebben gewoon een constante lichaamstemperatuur' (1117/M1);
- 7 = **Onjuist**, met verwijzing naar verbranding, stofwisseling, dissimilatie, brandstofverbruik, processen, activiteiten, reacties etc., bijvoorbeeld:
 'Onjuist, want bij alle verbrandingsprocessen komt warmte vrij. Dus produceren die beesten altijd warmte (1113/M1);
 'Onjuist, er wordt in je lichaam constant warmte geproduceerd, ook al is dat niet altijd bedoeld om het lichaam warm te maken. De warmte komt ook vrij bij het verteren van voedsel (1110/M2);
 'Onjuist, er vindt altijd verbranding plaats dus ze produceren altijd warmte (2122/M1);

Opdracht A 3

Typering: Deze opdracht sluit aan op § 6 en 7 uit het leerlingmateriaal, waarin het temperatuurreguleringsysteem bij de mens aan de orde komt. Met de gekozen formulering wordt de leerling uitgenodigd om in eigen woorden ('hoe het komt dat') een eenvoudige uitleg te geven voor het constant blijven van de lichaamstemperatuur van de mens

Tekst: *Stel je moet aan iemand die nog weinig van biologie weet (bijv. een jonger broertje of zusje) uitleggen hoe het komt dat onze lichaamstemperatuur ongeveer 37°C is. Wat zou je zeggen ?*

Categorieën: Gezien de aard en formulering van de opdracht mag niet verwacht worden dat de uitspraken van leerlingen in letterlijke zin overeenkomen met de wijze waarop experts zich uitdrukken. Er is dan ook niet gelet op de letterlijke formulering, maar op de kennis-elementen die in de antwoorden zijn aangetroffen. Daarbij is er van uit gegaan dat de leerling deze uitspraken doet vanuit een (zekere) achtergrond-expert knowledge. Deze expert knowledge komt in toenemende mate tot uiting in de scores 4 t.m. 7.

- 0 = Anders dan(in de volgende omschrijvingen)
- 1 = Optimum-idee / 'waartoe'-dimensie.
 Lichaam(of organen/enzymen/stoffen) werkt (of voelt/functioneert) goed (of lekker/optimaal) bij 37°C, bijvoorbeeld:
 'Bij 37° werkt alles in ons lichaam optimaal. Als er een andere temp. zou zijn gaan er bepaalde dingen stuk en dan wordt je ziek'(1111/M1);
 'De organen in je lichaam hebben deze temperatuur nodig om te blijven werken'(2126/M2);

'Dat is een constante temperatuur waarbij alle functies van het lichaam goed werken'(1117/M3);
'Dat in ons lichaam stoffen zitten die niet tegen een hogere temperatuur kunnen en dat die stoffen zich het best voelen bij 37°C.'(2105/M2);

2 = Warmte-produktie-idee / 'waardoor'-dimensie.

(Eten→) verbranden/processen → warmte komt vrij → 37°C, bijvoorbeeld:

'Als je eet, dan komt het eten in je bloed en dan gaat het naar alle plaatsen in je lichaam en daar wordt 'verbrand', ze breken het allemaal af in kleine stukjes die je lichaam weer gebruikt al voedsel. Verbranden is net warmte en bij deze 'brand' is dat 37°C.'(2108/M2);

3 = Optimum-idee + warmteproductie, dwz. 1 + 2, bijvoorbeeld:

'In ons lichaam zitten allerlei organen, deze werken allemaal optimaal bij 37°C. Je verbrandt ook stoffen in je lichaam, daarbij komt warmte vrij en zorgt ervoor dat je lichaamstemperatuur ±37°C is.'(1107/M2);

4 = Warmte-regulatie-idee / 'hoe'-dimensie.

De lichaamstemperatuur is 37 °C doordat dat geregeld wordt (evt. met gebruik van termen als setpoint, regelcentrum, zweten, rillen, bijvoorbeeld:

'Dat wij een constante lichaamstemperatuur hebben van het bloed en als deze hoger of lager wordt dan is er iets mis met de regelingen in het lichaam.'(1117/M1);

'Dit is een vastgestelde norm in het set-point in de hersenen. Er is temp.regulatie die er voor zorgt dat de temp. constant blijft'(2123/M2);

5 = Optimum-idee + warmteregulatie, dwz. 1 + 4, bijvoorbeeld:

'37°C is de temperatuur waarbij het lichaam optimaal functioneert. Het lichaam probeert die temperatuur zoveel mogelijk constant te houden' (1101/M2);

'Alle processen in het lichaam lopen het best ---> set-point op 37°C ingesteld'(2111/M2);

6 = Warmteproductie + warmteregulatie, dwz. 2 + 4, bijvoorbeeld:

'In ons lichaam zitten cellen, een soort fabriekjes die warmte produceren. Vanuit een centraal regelpunt, een soort hoofdkantoor, komen seintjes wanneer de fabrieken meer moeten gaan werken en wanneer niet'(2116/M2);

7 = Optimum-idee + warmteproductie + warmteregulatie, dwz. 1 + 2 + 4, bijvoorbeeld:

'Eten is een energiebron: het wordt omgezet in energie ---> warmte-energie. Het lichaam zorgt 'automatisch' dat de temperatuur 37°C is en gelijk blijft. Hierdoor kunnen alle organen goed hun werk doen'(3112/M3).

Opdracht A 4

Typing: In het leerlingenmateriaal wordt in § 8 ingegaan op de werking van het temperatuurregulatiesysteem bij de mens ingeval van koorts. Daarin wordt aan de leerlingen gevraagd om een eigen definitie van koorts te geven en om de werking van het temperatuurregulatiesysteem bij koorts te beschrijven. Tenslotte wordt gevraagd om -zodanig- een nieuwe verbeterde definitie van koorts te geven. Deze opdracht sluit nauw aan op de opdracht in het leerlingenmateriaal.

Tekst: Kun je een definitie geven van koorts ?

Categorieën: In categorie 1 vallen antwoorden waarin de verhoging van de lichaamstemperatuur centraal staat, zonder dat op de achtergronden hiervan wordt ingegaan.

In antwoorden met score 2 wordt de invloed van het set point (SP) wel aangeduid, maar in een zin alsof dit niet goed functioneert. Expert knowledge blijkt in antwoorden met score 3; hierbij wordt de rol van het set point bij het regelen van de (verhoging van) de lichaamstemperatuur (LT) op biologisch correcte wijze omschreven.

0 = Anders dan

1 = LT ↑, lichaamstemperatuur afwijkend, te hoog, stijgt, bijvoorbeeld:

'Verhoging van temperatuur door overactiviteit stofwisseling'(2103/M1);

'Verhoging of verlaging van temp. van het lichaam waardoor allerlei processen niet meer goed verlopen in het lichaam'(2118/M1);

'Een verhoging van de lichaamstemperatuur doordat er iets mis is in het lichaam'(1109/M1);

'Een verhoging van de lichaamstemperatuur om het afweersysteem zo goed mogelijk te laten werken'(1109/M2);

2 = SP =, setpoint ontregeld/verstoord, bijvoorbeeld:

'Het setpoint is ontregeld doordat virussen en/of ziektekiemen er op inwerken dmv stoffen. Koorts is ook goed tegen ziektekiemen'(2108/M3);

'Dat er een storing is in de set-point van je koude-warmte regulatie centrum'(3113/M2);

3 = SP ↑ (→) LT ↑, setpoint verandert, gaat omhoog; (waarna) lichaamstemperatuur verandert, omhoog gaat, bijvoorbeeld:

'Koorts is een verhoging van de temp. in je lichaam omdat er (ziekte)bacteriën zijn die het setpoint permitteren om een hogere waarde aan te geven dan 37°C'(3103/M2);

'Koorts is een verhoging (door ziektekiemen) van je setpoint, zodat het warmteregulatiesysteem de lichaamstemperatuur constant houdt op een hogere temp. dan 37°C'(3115/M2).

Opdracht A 5

Typing: Deze opdracht sluit nauw aan op § 7 van het leerlingmateriaal, waarin de bouw en werking van het temperatuurreguleringsstelsel bij de mens aan de orde komt. Verkend wordt welke verklaringen leerlingen geven voor het uitwendige verschijnsel 'rillen', en welke regulatie-redeneringen hierbij worden gehanteerd.

Tekst: *Als iemand rilt, is dat dan een reactie op een (tijdelijke) verhoging of verlaging van de lichaamstemperatuur ? Leg uit.*

Categorieën: Met score 1 zijn antwoorden getypeerd waarin een onjuiste (cq. omgekeerde) voorstelling van het biologische (regel)proces wordt gegeven. De antwoorden onder score 2 zijn weliswaar juist, maar in een eventuele uitleg komt geen achterliggende oorzaak naar voren. In antwoorden met score 3 is expert knowledge aanwezig: hierin wordt de opwarmreactie in het lichaam correct getypeerd en/of omschreven.

0 = Anders dan

1 = LT ↑, reactie op verhoging lichaamstemperatuur, bijvoorbeeld:

'Dat wijst op een tijdelijke verhoging van de lichaamstemp., want daardoor voelt de buitenlucht koud aan. Je gaat dus rillen'(1106/M1);

'Verhoging, want je lichaam gaat rillen om de warmte kwijt te raken. De afkoelzintuigen worden geactiveerd'(3103/M2);

'Dat is een reactie op een tijdelijke verhoging van de temperatuur, de huidwarmte wordt gebruikt in je lichaam zodat je bleek ziet en gaat rillen'(1101/M3);

2 = LT ↓, reactie op verlaging lichaamstemperatuur (zonder uitleg), bijvoorbeeld:

'(tijdelijke) verlaging'(1116/M1);

'Tijdelijke verlaging, kan bijv. optreden bij een tochtvlaag'(1102/M1);

3 = LT ↓ (→ SA) → WP, reactie op verlaging om door warmteproductie (WP) de lichaamstemperatuur te verhogen; soms wordt spierarbeid (SA) als warmtebron genoemd, bijvoorbeeld:

'Verlaging om warmte te produceren'(1109/M1);

'Tijdelijke verlaging van de temperatuur. Je hebt het koud, je gaat rillen ---> door het rillen bewegen je spieren en krijg je het warmer'(1107/M2);

'Het is een reactie op een tijdelijke verlaging van de temp. Door te rillen produceren de spiercellen meer warmte dan normaal waardoor de temperatuur weer stijgt tot het standaardniveau'(1115/M2);

'Rillen is actie waarbij verbranding optreedt dus zou de temperatuur wel even te laag zijn geweest'(2118/M2);

'Een tijdelijke verlaging. Het set-point staat op 37°C, wordt de temperatuur lager dan zal er warmte geproduceerd moeten worden. Dit kan onder andere door het snel samentrekken van spieren; het rillen'(1101/M3).

Opdracht A 6

Toelichting: Deze opdracht sluit aan op § 10 uit het leerlingenuitvoerendmateriaal, waarin regulatie op populatieniveau aan de orde komt, en waarbij de relatie tussen de omvang van lynxen- en hazenpopulaties als voorbeeld is gebruikt.

Tekst: *In een bepaald gebied komen hazen algemeen voor. Ook leven er lynxen. De lynx is een katachtig roofdier dat o.a. de haas als prooi heeft. Stel iemand beweert dat het aantal hazen dat in het gebied voorkomt, afhangt van het aantal aanwezige lynxen. Wat vind je van die bewering? Juist, onjuist? Graag je commentaar*

Categorieën: De scores 1 en 2 betreffen antwoorden waarin de gegeven bewering expliciet als onjuist wordt getypeerd. In antwoorden met scores 3 en 4 worden verklaringen met een causale inslag aangetroffen, waarin het gegeven in de bewering op de voet wordt gevolgd.

In antwoorden met scores 5 en 6 is sprake van 'expert knowledge; hierin wordt -als uitbreiding op de gegeven bewering- door de leerling gewezen op het circulaire aspect van deze regulatie. In antwoorden met score 6 wordt daarbij de juistheid van de bewering enigszins genuanceerd en wordt deze gecompleteerd door ook de invloed van abiotische factoren aan te geven.

0 = Anders dan

1 = Onjuist zonder toelichting

- 2 = **Onjuist met toelichting**, er wordt verwezen naar andere factoren dan de predator/prooi relatie, bijvoorbeeld:
'Onjuist, want als de lynxen de hazen niet opeten dan is er wel een ander dier die de haas als prooi opeet. Dus met of zonder lynx de haas wordt toch wel opgegeten'(1113/M1);
'Onjuist, het aantal hazen hangt van een nog veel groter aantal factoren af bv. roofdieren, ziektes, voedsel enz.'(2112/M2);
- 3 = **Juist, evt. met overname redenering**, de causale verklaring in de bewering wordt gevolgd, bijvoorbeeld:
'Juist, want als er veel lynxen in het gebied zijn wordt er door meer op hazen gejaagd waardoor het aantal hazen zal afnemen'(1118/M1);
'Juist, als er veel lynxen zijn dan gaan ze veel hazen eten, als er niet zo veel lynxen zijn dan worden er weinig hazen gegeten'(1117/M2);
- 4 = **Juist, met overname redenering en aanduiding van andere factoren**, de causale verklaring wordt gevolgd, waarbij ook andere factoren worden genoemd, bijvoorbeeld
'Juist, het aantal hazen zal wel van het aantal lynxen afhangen, maar voor een gedeelte. Er kunnen ook andere factoren spelen die invloed op het aantal hazen hebben'(1114/M2);
'Voor een groot deel juist. Want hoe meer lynxen hoe meer hazen ze moeten vangen. Maar wanneer er veel hazen zijn kan het ook zijn dat de hazen van de honger dood gaan'(2122/M2);
- 5 = **Juist, waarbij wordt aangegeven dat ook het omgekeerde geldt**; het cyclische karakter van de relatie van beide populaties wordt aangegeven; circulaire verklaring, bijvoorbeeld:
'Dat is juist, de hazen en lynxen houden elkaar als het goed is in evenwicht. Als er veel hazen zijn zullen er veel lynxen overleven omdat er veel voedsel is; zijn er dan weer minder hazen, sterven er weer lynxen doordat er geen voedsel is'(1110/M1);
'Juist, als de populatie hazen toeneemt nemen ook de lynxen toe --- > dan nemen de hazen weer af en dan nemen ook de lynxen weer af waarna er weer een toename van hazen ontstaat'(3119/M2).
- 6 = **Juist, waarbij wordt aangegeven dat het omgekeerde ook geldt, én dat andere factoren een rol spelen**; het cyclische karakter wordt aangegeven, en andere mogelijke factoren worden genoemd, bijvoorbeeld:
'In theorie is het juist want hoe meer lynxen er komen, hoe minder hazen er overblijven, waardoor het aantal lynxen ook zal afnemen, hierdoor kunnen de hazen zich weer voortplanten. In praktijk echter, zijn er nog veel meer eigenschappen, zoals natuurrampen, voedseltekorten, andere roofdieren'(1102/M2);
'Juist want als er veel lynxen zijn komen er minder hazen, andersom komen er minder lynxen als de hazen afnemen, ze houden elkaar dus in evenwicht. Maar er spelen ook andere factoren: de hoeveelheid voedsel voor de hazen, en of de lynx nog andere prooidieren heeft'(1108/M3).

Opdracht A 7

Toelichting: De leerling moet de gegevens uit de tekst wegen en interpreteren, en in verband brengen met de dood van de poolreizigers. Noodzakelijk is dat de leerling onderkent dat er sprake is geweest van een langdurige blootstelling aan extreme klimatologische omstandigheden, en vervolgens nadenkt over de eisen die dit aan het (fysiologisch) functioneren van het organisme stelt. De antwoorden van leerlingen zouden 'hypotheses' kunnen zijn waarin problemen met (het instandhouden van) het basaalmetabolisme (§ 5) en de temperatuurregulatie (§ 5-8) aan de orde zijn.

Tekst:

Lees de volgende tekst

In 1911 vertrok een Engelse expeditie onder leiding van Robert F. Scott per schip naar Antarctica, het Zuidpoolgebied. Het doel van de expeditie was om als eerste het zuidelijkste puntje van de aardbol te bereiken. Aan de rand van het Zuidpoolgebied werd een basiskamp in gericht. Van daaruit vertrok in het najaar van 1911 een groep mannen te voet in de richting van de Zuidpool.

Twee-en-een-halve maand later, na een tocht van 1500 km (dat is verder dan bijv. Amsterdam-Barcelona) bereikte Scott met zijn mannen de Zuidpool.

De terugtocht naar het basiskamp overleefden zij niet. De lichamen van Scott en zijn mannen werden later teruggevonden. Scott droeg op zijn lichaam het dagboek dat hij tot op de laatste dag had bijgehouden, en waardoor wij nu nog weten wat er onderweg precies gebeurd is.

Kun je verklaringen of oorzaken geven voor de dood van de poolreizigers ?

Categorieën: Een aantal leerlingen noemt -vaak in trefwoorden- oorzaken die weliswaar denkbaar zijn, maar waarbij geen uitleg werd gegeven of een verband met het (fysiologisch) functioneren van het lichaam niet werd gelegd (code 0). In categorie 1 ('koude'), 2 ('voedseltekort') en 3 ('koude' + 'voedseltekort') zijn antwoorden gerangschikt waarin oorzaken van externe aard zijn gerangschikt, die weliswaar mede hebben bijgedragen aan, maar niet als directe oorzaak van de dood van de poolreizigers kunnen worden aangewezen. Als expert knowledge worden aangeduid antwoorden in categorie 4; waarin een verbinding wordt gelegd tussen de externe factoren en het interne fysiologische functioneren.

0 = Anders dan....., ziek geworden, roofdieren, ongeval, bijvoorbeeld:

'Sneeuwblind, desoriëntatie, ijsberen'(2102/M3);

1 = Oorzaak 'koude', onderkoeling, lage lichaamstemperatuur, kou, slechte kleding, bijvoorbeeld:

'De omstandigheden waren te extreem (constante vriestemperatuur) voor hun lichamen'(1111/M1);

'Hij kon zijn kleding niet droog krijgen (zweet) daardoor is hij bevroren'(2104/M3);

'Ze waren niet bestand tegen de hevige kou'(1108/M2);

'De kou nam te veel energie uit het lichaam'(2113/M2);

2 = Oorzaak 'voedseltekort', verhongeren, ondervoeding, energietekort, uitputting, bijvoorbeeld:

'De mannen van Scott zijn waarschijnlijk verdwaald en gestorven aan ondervoeding'(2116/M2);

'Ze gaan dood van de honger'(2115/M3);

'Het lichaam heeft zoveel energie gebruikt voor het op peil houden van de temperatuur, dat er minder energie was om te lopen. Ze raakten dus steeds meer uitgeput'(1114/M3);

3 = Oorzaak 'koude' en 'voedseltekort' (1 + 2), bijvoorbeeld:

'Het kan gekomen zijn door uitputting want ze hebben gemiddeld per dag 20 km gelopen en dat 2½ maand lang. Het kan zijn gekomen door de honger. Of door strenge kou dat ze onderkoeld zijn geraakt en bevroren. Ze kunnen overvallen zijn door een sneeuwstorm en ingesneeuwd zijn'(1113/M1);

'Uitgehongerd, geen voedsel---> geen energie, onderkoeling'(2126/M3);

'Geen eten meer en de vrieskou'(3117/M3);

- 4 = Oorzaak 'problemen warmteproductie', geen warmteproductie, evt. door voedselgebrek, te veel energie/voedsel gebruikt voor op peil houden lichaamstemperatuur, problemen met set-point, huid(zintuigen) bevroren, evt. onderkoeling *als gevolg* genoemd, bijvoorbeeld:
 'De temperatuur op de Zuidpool was zo laag dat het lichaam enorme hoeveelheden extra warmte moest produceren door extra verbranding, als ze dan te weinig aten of voedsel tekort hadden zullen ze van honger (energie tekort) gestorven zijn'(2105/M2);
 'Te weinig voedsel---> geen verbranding---> onderkoeling'(1106/M3);
 'Huid bevroren / ging dood---> warmtezintuigen in de huid functioneren niet meer goed, geven geen prikkel tot opwarmen dus men koelt af'(3111/M3);
 'Voedsel op ---> kan stofwisseling niet op peil houden---> lichaamstemp. daalt'(2125/M3).

6.5.2.4 Resultaten

Hierna wordt een overzicht gegeven van de uitkomsten van de bewerking en analyse van de leerlingreacties. Dit overzicht op hoofdlijnen is gebaseerd op de integrale cijfermatige uitkomsten die zijn opgenomen in bijlagen bij dit proefschrift.

In bijlage 6-1 wordt het volledige cijfermateriaal gepresenteerd betreffende de *ontwikkeling van kennis in de groepen*. Per opdracht zijn in frequentietabellen de percentages leerlingen vermeld die per categorie scoorden en worden deze tabellen toegelicht. In bijlage 6-2 worden deze uitkomsten gevisualiseerd in de vorm van frequentiegrafieken. In bijlage 6-3 zijn de gegevens over *individuele kennisontwikkeling* per opdracht vermeld in een zgn. regressie-/progressie-tabel. Hierin zijn de aantallen leerlingen vermeld die -bij vergelijking van scores op M1 en M3- blijken geven van teruggang (regressie) of vooruitgang (progressie) in score, of eenzelfde score vertonen (stabiel).

Ontwikkeling van sleutelbegrippen in de groepen

De scores van *leerlingantwoorden in de categorie expert knowledge* zijn een indicatie voor de mate waarin leerlingen (zijn gaan) beschikken over kennis van de biologische sleutelbegrippen in het leerlingenmateriaal. In Afb 6.7 wordt de ontwikkeling van de scores in deze categorie per opdracht weergegeven in een frequentiegrafiek.

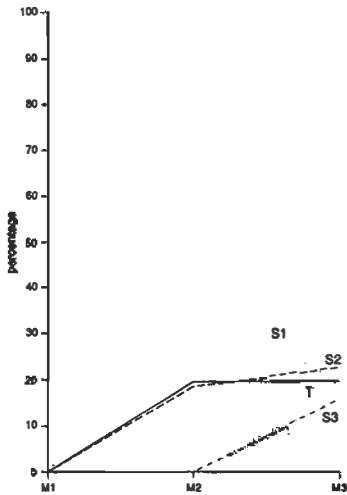
Een vergelijking van de scoringspercentages in de expert-knowledge categorie op M1, M2 en M3 geeft inzicht in het *ontwikkelingstraject van de expert-knowledge*.

Uit de kennisontwikkelingstabellen cq. grafieken komen twee mogelijke trajecten naar voren, die hier worden aangeduid als *traject S(tijging)*, of *traject T(erugval)*.

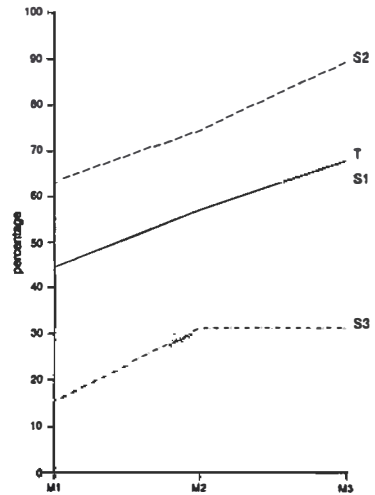
In traject S vertoont de kennisontwikkelingslijn ook na M2 een continu *stijgend* verloop, of is *stabiel* na M2, dwz. dat de score in de hoogste expertcategorie toeneemt van M1, via M2 naar M3; of dat het op M2 behaalde niveau gelijk blijft op M3. In traject T heeft de kennisontwikkelingslijn een discontinu verloop: na een aanvankelijke winst op M2 is er een *terugval* op M3. In afbeelding 6.8 wordt een overzicht gegeven van de trajecten van kennisontwikkeling per opdracht en per school.

Afb. 6.7
Frequentiegrafieken voor de categorieën met expert knowledge
bij de opdrachten A1 - A4, per school (S1,S2,S3) en getotaliseerd (T).

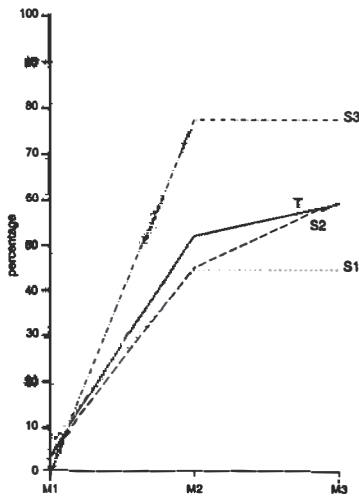
A1: Functioneel-biologische typeringen (3,4)



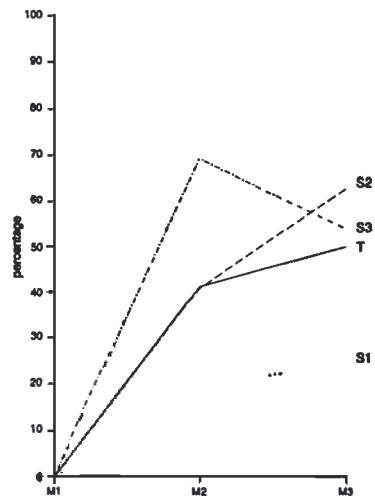
A2: Continue warmteproductie (7)



A3: Regulatie-redeneringen (4,5,6,7)



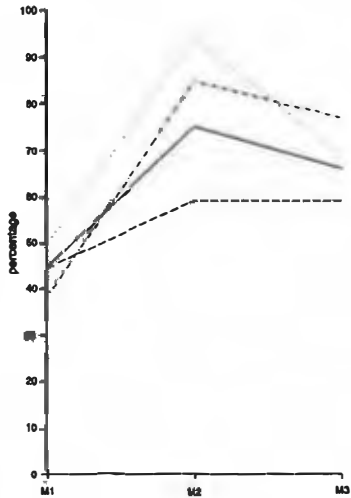
A4: Koortsdefinitie (3)



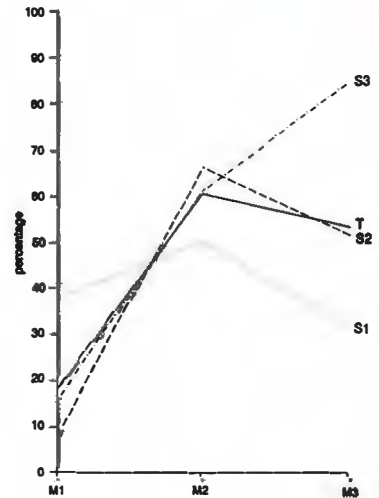
Afb. 6.7 (vervolg)

Frequentiegrafieken voor de categorieën met expert knowledge bij de opdrachten A5 - A7, per school (S1,S2,S3) en getotaliseerd (T).

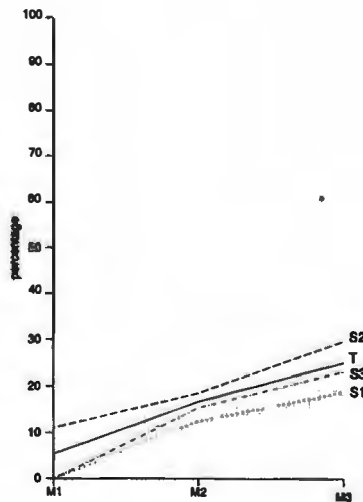
A5: Regeling opwarmreactie (3)



A6: Circulaire redeneringen (5,6)



A 7: Oorzaak problemen warmteproductie (4)



Afb. 6.8 / Overzicht traject kennisontwikkeling per opdracht en per school

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
S1	T	S	S	S	T	T	S
S2	S	S	S	S	S	T	S
S3	S	S	S	T	T	S	S

Uit dit overzicht blijkt bij vergelijking van de scholen dat er over het hele traject in school 2 (S2) bij zes (van de zeven) opdrachten sprake is van een stijgend of stabiel percentage leerlingen dat antwoorden geeft die als expert knowledge worden gecodeerd. In school 1 (S1) en school 3 (S3) is er bij vier resp. vijf opdrachten sprake van stijgende of stabiele percentages. Als *schoolspecifiek patroon* valt op dat in school 1 (S1) het aantal vragen met stijging en met terugval min of meer gelijk is (4/3). In school 2 (S2) en school 3 (S3) zijn deze verhoudingen resp. 6/1 en 5/2. In deze scholen is bij het merendeel van de leerlingen sprake van een verdere stijging van antwoorden in de categorieën van expert knowledge: de kennis heeft zich hier blijkbaar ook na afloop van de onderwijsinterventie verder ontwikkeld.

Als *vraagspecifiek patroon* komt bij een vergelijking van de vragen naar voren dat bij de vragen A5 en A6 steeds bij twee scholen, en bij de vragen A1 en A4 steeds bij één school een terugval optreedt. Bij de vragen A2, A3 en A7 is in geen van de scholen terugval geconstateerd.

Een benadering van de *omvang van de kennisontwikkeling* is weergegeven in afbeelding 6.9. Hier is -per opdracht en per school- het percentage leerlingen vermeld dat *leerwinst* boekte. Dit percentage is verkregen door het totale percentage leerlingen dat op M3 scoorde in de expert-knowledge categorie te verminderen met het percentage leerlingen dat reeds op M1 expert knowledge vertoonde. Dit laatste percentage -dat dus betrekking heeft op leerlingen die zowel op M1 als M3 scoorden in de expert knowledge-categorie- is in de tabel tussen haakjes vermeld.

Afb. 6.9 Percentage leerlingen met leerwinst op het niveau van expert knowledge van M1 naar M3 en (tussen haakjes) met expert knowledge op M1, per opdracht en per school

	S1	S2	S3	T
A1	18,8 (-)	22,2 (-)	15,4 (-)	19,7
A2	25,0 (37,5)	25,9 (63,0)	15,4 (15,4)	23,3
A3	37,5 (6,3)	55,5 (3,7)	77,0 (-)	57,1
A4	25,1 (-)	62,9 (-)	53,9 (-)	50,0
A5	18,8 (50,0)	14,8 (44,4)	38,4 (38,5)	21,3
A6	-6,3 (37,6)	44,4 (7,4)	69,2 (15,4)	35,7
A7	18,8 (-)	18,5 (11,1)	23,1 (-)	19,6

Uit afbeelding 6.9 blijkt dat de gemiddelde leerwinst op M3 het grootst is bij de opdrachten A3, A4 en A6, en laag is gebleven bij de opdrachten A1 en A7. Voor wat betreft de (voor)kennis op expert knowledge niveau op M1 komen uit de tabel naar voren de hoge scoringspercentages die in elk van de scholen bij opdracht A5 werden gehaald. Ook bij de opdrachten A2 en A6 is er op M1 sprake van hoge scoringspercentages, maar niet in alle scholen. Bij de opdrachten A1, A3, A4, en A7 is er op M1 geen of een lage score in de expert-knowledge categorie.

Ontwikkeling van sleutelbegrippen bij individuele leerlingen

De uitkomsten van het onderzoek naar *kennisontwikkeling per individu*, vermeld in de regressie-/progressietabellen uit bijlage 6-3, zijn in afbeelding 6.10 samengebracht. Per opdracht is vermeld het aantal leerlingen waarbij sprake was van progressie, van stabiel blijven of van regressie van kennis, waarbij zowel de mutaties in de totale kennis als in de expert knowledge zijn aangegeven. Waar het expert knowledge (e.k.) betreft, is naast het aantal ook het percentage leerlingen vermeld. Het totale aantal leerlingen waarop de gegevens betrekking hebben, bedraagt 56.

Afb. 6.10 / Overzicht van kennisontwikkeling bij individuele leerlingen, per opdracht

opdracht		regressie M1→M3	stabiel M1→M3	progressie M1→M3
A1	tot	6	29	21
	waarvan e.k.	-	-	11 / 20%
A2	tot	9	25	22
	waarvan e.k.	5 / 9%	20 / 36%	18 / 32%
A3	tot	4	13	39
	waarvan e.k.	1 / 2%	-	33 / 59%
A4	tot	4	18	34
	waarvan e.k.	-	-	27 / 48%
A5	tot	10	22	24
	waarvan e.k.	6 / 11%	19 / 34%	18 / 32%
A6	tot	8	14	34
	waarvan e.k.	3 / 5%	6 / 11%	24 / 43%
A7	tot	10	24	22
	waarvan e.k.	2 / 4%	1 / 2%	13 / 23%

Uit de gegevens over de kennisontwikkeling per individu kon de omvang van bij de opdrachten behaalde leerwinst worden afgeleid, dwz. dat het aantal leerlingen werd berekend dat een bepaald aantal progressie- of regressie-scores behaalde.

In afbeelding 6.11 zijn per school weergegeven frequenties van progressie- en regressiescores en het aantal leerlingen dat deze frequentie vertoonde.

Afb.6.11 / Overzicht van de cumulatieve frequentie van progressie- en regressiescores

Aantal opdrachten waarbij sprake is van: -progressie naar expert knowledge (e.k.)							-regressie van e.k.			
	6	5	4	3	2	1	0	0	1	2
in S1 (n=16)	-	1	-	3	6	4	2	9	5	2
in S2 (n=27)	1	2	4	7	7	5	1	22	4	1
in S3 (n=13)	-	1	3	7	2	-	-	11	2	-
Tot. (n=56)	1	4	7	17	15	9	3	42	11	3

Uit deze tabel blijkt uit de totaalscore dat 44 (van de 56) leerlingen (ca. 80%) progressie heeft geboekt op het niveau van expert knowledge bij twee of meer opdrachten. Het percentage dat bij drie of meer opdrachten progressie boekt, bedraagt ca. 50 (29 van 56 lln.). Van alle leerlingen zijn er slechts drie die bij geen enkele opdracht progressie naar het expert-knowledge niveau boeken.

Bij vrijwel alle vragen waarbij op M1 al expert knowledge is geconstateerd, doet zich -bij een klein aantal leerlingen- regressie voor. In het bronnenmateriaal was zichtbaar dat in school 1 (S1) en school 2 (S2) de combinatie van progressie en regressie voornamelijk optreedt bij leerlingen die bij weinig vragen progressie boeken; bij leerlingen die op meerdere vragen progressie boeken komen vragen met regressie *relatief* minder voor.

De uitkomsten bevestigen voorts de tendenzen die eerder werden geconstateerd ten aanzien van de verschillen tussen scholen. Bij de bewerking van de progressie/regressie-gegevens zijn geen leerlingsspecifieke effecten naar voren gekomen: de progressie komt breed gespreid over de groepen en bij nagenoeg alle leerlingen (53) voor.

6.5.2.5 Discussie en nadere analyse

Hierna wordt nader ingegaan op de hiervoor gerapporteerde uitkomsten van het onderzoek naar kennisontwikkeling in de groepen en bij individuen, waarbij opdracht- en schoolspecifieke effecten en de omvang van de kennisontwikkeling aan de orde komen.

Bij *opdracht A1* bedraagt het percentage leerlingen dat een progressieve kennisontwikkeling vertoont naar het niveau van expert knowledge gemiddeld over de drie groepen ca. 20 %. (Afb.6.9). Uit de antwoorden op deze opdracht voorafgaand aan de lessenreeks (op M1) komt geen expert-knowledge naar voren, wat er op wijst dat deze specifieke biologische regulatie in voorgaande jaren in het biologieonderwijs niet aan de orde is geweest. Vooraf (op M1) blijken al veel leerlingen gebruik te maken van het fysische regulatie-concept (osmose/diffusie). Dit concept is op M3 ook prominent aanwezig in de leerlingreacties, zoals o.m. tot uiting komt in de progressie-/regressietabel in de categorie stabiel (ca. 50% van de leerlingen) (Afb.6.10). Deze niet-biologische verklaring is wellicht blijven voortbestaan doordat leerlingen vanaf het begin van hun VO-loopbaan in de biologie regelmatig zijn geconfronteerd met processen van osmose en diffusie, en dat deze daarbij door hen zijn opgevat als (de) biologische regulatieprocessen bij uitstek. Overigens is kennis van deze processen zeker een voorwaarde om een biologische regulatie waarin de contractiele vacuole een rol speelt, op adequate manier te kunnen benoemen en verklaren (zie ook McKenna & Hand [2] en Johnstone & Mahmoud [3]). Opgemerkt moet nog worden dat -achteraf gezien- vraagtekens bij de inhoud en formulering van de opdracht geplaatst kunnen worden. De opdracht sluit qua problematiek weliswaar nauw aan op een overeenkomstige opdracht in het leerlingenmateriaal, maar vraagt van de leerling om de eerder bij deze opdracht verkregen kennis toe te passen op een situatie die in hoge mate hypothetisch van karakter is.

Bij *opdracht A2* blijkt bij veel leerlingen in school 1 (S1) en school 2 (S2) en in mindere mate bij leerlingen in school 3 (S3) reeds voorkennis aanwezig op het niveau van expert knowledge (Afb.6.9). Over de hele populatie gerekend is op M1 expert knowledge aanwezig bij ca. 45 % van de leerlingen: het verschijnsel van continue warmteproductie blijkt bij hen bekend te zijn. Deze uitkomst geeft aan dat de expliciete aandacht die -op grond van de resultaten van de in § 4.4 gerapporteerde pilotstudie- in het leerlingenmateriaal aan dit aspect wordt besteed relevant bleek voor ruim de helft van de leerlingen uit de onderzoeksgroepen. Hoewel de mogelijkheid tot kennisontwikkeling hier dus relatief beperkt lijkt, treedt -gemiddeld over de drie groepen- bij 32 % van de leerlingen een progressie naar het niveau van expert knowledge op.

Bij *opdracht A3* treedt -over de groepen gemiddeld- bij ca. 60% van de leerlingen een leerwinst naar expert knowledge op (Afb.6.10). Op M1 werd bij in de antwoorden van leerlingen voorkennis van expert-knowledge niveau niet of nauwelijks aangetroffen. Over de hele populatie gerekend is er bij meer dan de helft van de leerlingen een progressie naar het niveau van expert knowledge.

In verband met het gebruik van de aanduiding expert knowledge wordt hier -gezien de aard en context van de opdracht- nog het volgende aangetekend. Er is bij de beoordeling van de leerlingreacties niet (primair) gelet op het gebruik van expert-vocabulaire, maar wel op de redeneer- en denkwijze die achter de door de leerling gebruikte woordkeuze ligt.

Bij *opdracht 4* is er bij ongeveer de helft van de leerlingen progressie naar kennis van expert-knowledge niveau (Afb.6.10). De matige leerwinst (van ca.25 %) in school 1 (S1) hangt samen met het hoge percentage leerlingen in deze groep dat ook op M3 koorts blijft omschrijven als een afwijking of stijging van de lichaamstemperatuur.

Bij *opdracht A5* kwam op alle scholen een hoge voorkennisscore naar voren, gemiddeld ca. 45 % (Afb.6.9). Het uiteindelijke percentage leerlingen dat op M3 in de expert knowledge categorie scoort (ca. 66%), is negatief beïnvloed doordat tegelijkertijd bij 11% een terugval uit deze categorie werd geconstateerd. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat een aantal leerlingen op M3 volstaat met een kort -op zich correct- antwoord op de vraag, maar niet de moeite heeft genomen om de gevraagde uitleg te geven die kenmerkend is voor een antwoord in de expert knowledge categorie.

Bij *opdracht A6* is het beeld zeer divers, zowel ten aanzien van de voorkennisscore als ten aanzien van de geboekte leerwinst. Ondanks een hoge voorkennisscore valt in S1 de uiteindelijke leerwinst tegen: er is een sterke terugval van M2 naar M3. De lagere voorkennisscore in S2 en S3 gaat hier juist gepaard met een matige of duidelijke winst. Over de hele populatie gerekend is op M1 het percentage leerlingen dat scoort op het niveau van expert knowledge ca. 18%, met een grote spreiding. Hoewel het percentage leerlingen dat op M3 progressie boekt gemiddeld 43 % bedraagt, kunnen hierop moeilijk uitspraken over de populatie als geheel worden gebaseerd (Afb.6.10). Er is sprake van een sterke uitmiddeling: de progressie-scores in de scholen zijn bij deze vraag sterk verschillend, zoals blijkt uit Afb.6.9. De hoge score in school 3 (S3) hangt mogelijk samen met het feit dat in deze groep deze thematiek nog recent aan de orde was geweest en er dus sprake was van een herhaling(seffect). Over een eventuele eerdere behandeling van deze thematiek in de andere groepen (S1, S2) ontbreekt informatie. Bij deze opdracht is -als enige- bij vergelijking van M1 en M3 een terugval in de categorie expert knowledge te zien, en wel bij school 1 (S1). Hiervoor is geen verklaring te geven.

Opgemerkt kan nog worden dat de enigszins vrijblijvende formulering in de opdracht ('Graag je commentaar') mogelijk van invloed is geweest op de kwaliteit en omvang van de antwoorden. Mogelijk is dit ook het geval waar leerlingen hebben volstaan met een beknopt -in categorie 4 gescoord- antwoord doordat er in de bewering niet expliciet naar de omgekeerde mogelijkheid werd gevraagd. Overigens is deze mogelijkheid -het cyclische karakter van deze regulatie- wel in het lesmateriaal aan de orde geweest.

Bij *opdracht A7* wordt op M3 in de expert-knowledge categorie gescoord door gemiddeld ca. 20% van de leerlingen. Bij deze opdracht hebben weliswaar de meeste leerlingen de voor de hand liggende factoren koude en voedseltekort vanaf het begin als mogelijke oorzaken genoemd, toch is het uiteindelijk maar een beperkt aantal dat op M3 de verbinding legt met de factor warmteproductie en/of met het functioneren van het temperatuurregulatiesysteem. Mogelijk heeft het verhalende karakter en de inhoud van de tekst leerlingen afgehouden van een problematisering in laatstgenoem-

de richting. Ook kan worden vastgesteld dat veel leerlingen bij deze laatste opdracht, en in ieder geval op M3, met een beknopt antwoord hebben volstaan: mogelijk was er bij hen sprake van een zekere 'test-moeheid'. Dit kan mede de lage expert-knowledge score op M3 verklaren.

Een mogelijke verklaring voor doorstijgingseffecten bij verschillende opdrachten kan zijn dat de leerlingen na invulling van het werkboek op M2 nogmaals met de inhoud van het lesmateriaal zijn geconfronteerd bij het voorbereiden en maken van het proefwerk, en dat de thematiek daarna ook nog in de klas aan de orde kwam bij het nabespreken daarvan. Deze activiteiten kunnen hebben bijgedragen aan verdere kennisontwikkeling na M2.

Uit afbeelding 6.9 kan worden afgeleid dat in elk van de scholen het hoogste percentage leerlingen met reële leerwinst zich voordoet bij de opdrachten A3 en A4, en dat bij de opdrachten A7 en A1 deze winst het kleinst is gebleven. Deze (relatief) lage scores in expert knowledge hangen mogelijk samen met de aard cq. de moeilijkheidsgraad van de opdrachten en -bij opdracht A1- met het wisselende beginniveau en -tempo dat in de verschillende groepen werd geconstateerd tijdens de behandeling van de eerste paragrafen van het leerlingenmateriaal, waarin het celniveau aan de orde komt (zie § 6.4.1).

Voor lage scores in expert knowledge bij A7 zijn verklaringen van andere aard mogelijk; naast het 'laatste-vraag effect' speelt wellicht ook het open karakter van de opdracht hier mee. De scores op A5 en A7 blijven in school 2 (S2) achter ten opzichte van die bij de overige vijf opdrachten, bij S3 is dit het geval met de scores op A1 en A2. In school 1 (S1) is bij A6 sprake van kennis-regressie: de negatieve score laat zien dat het percentage leerlingen met expert knowledge op M3 is verminderd in vergelijking met M1. Met name hierdoor is de spreiding in scores bij deze opdracht groot.

Ook afbeelding 6.10 bevestigt dat bij de vragen A2, A3, A4, A5 en A6 de sterkste progressie naar expert knowledge-categorieën is opgetreden; dit komt overeen met het beeld van de totale progressie. De geringere percentages progressie bij de vragen A1 en A7 lopen parallel met de relatief hoge scores in de categorieën stabiel en regressie.

6.5.2.6 Conclusies

Met betrekking tot de tweede onderzoeksvraag (§ 6.2) kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Als *algemene tendens* is er over de hele linie -dwz. in alle groepen en bij alle leerlingen- sprake van een duidelijke *kennisontwikkeling* rond de sleutelbegrippen uit het thema 'Geregeld overleven'. Dit houdt in dat alle leerlingen over diverse aspecten van het thema over meer kennis zijn gaan beschikken. Bij een deel van de leerlingen werd daarbij het *niveau van expert knowledge* bereikt. Bij de opdrachten bedroeg het

percentage leerlingen waarbij expert knowledge werd geconstateerd over de drie scholen gemiddeld ca. 32 %, met een spreiding van ca. 20-42 %

Hoewel het onderzoek niet speciaal gericht was op het opsporen en zeker niet op het verklaren van schoolspecifieke effecten bleek dat de omvang van de kennistoename m.b.t. de A-opdrachten in S1 beneden het gemiddelde van de totale populatie lag, terwijl die in S2 en S3 -soms ruim- boven het gemiddelde uitkwam (Afb.6.9). Op mogelijke achtergronden hiervan zal in § 6.7 worden ingegaan.

Uit vergelijking van de gegevens die werden verzameld op de achtereenvolgende meetmomenten bleek dat de kennisontwikkeling zich heeft voltrokken via twee trajecten die in alle drie deelnemende populaties werden waargenomen. In één school (S2) bleek vrijwel steeds het continue traject te zijn opgetreden, terwijl in S1 en S3 beide trajecten naar voren kwamen; continue trajecten hadden ook in S1 en S3 de overhand.

Het *beantwoorden van de onderzoeksvragen* betekent dat de inhoudspecifieke effecten aan de orde moeten komen. Uit de onderzoeksgegevens kan worden opgemaakt dat de kennisontwikkeling het meest duidelijk is gebleken ten aanzien van aspecten op organisme-niveau. Op het cel- en populatieniveau is dit in mindere mate het geval. Deze inhoudsspecifieke effecten worden hier samengevat in de vorm van antwoorden op de vier onderzoeksvragen van het longitudinale onderzoek.

Bij *onderzoeksvraag 1* ging het om kennisontwikkeling ten aanzien van het hanteren van het *systeem/systeemomgevingsconcept cq. wisselwerkingsconcept* in verband met het *overleven van het organisme*. Deze thematiek werd aan de orde gesteld in de opdrachten A1, A2, A6 en A7.

Uit de onderzoeksresultaten -zoals die zijn samengevat in de afbeeldingen 6.9 en 6.10- komt naar voren dat bij deze opdrachten de percentages leerlingen waarbij progressie optreedt resp. bedragen ca. 38%, 39%, 61% en 39%, voor progressie naar expert-knowledge bedragen deze resp. ca. 20%, 32%, 43% en 23%.

Bij *onderzoeksvraag 2* stond centraal de kennisontwikkeling rond *kenmerken en functies van levende systemen*, met name het benoemen en met elkaar in verband brengen hiervan. Deze aspecten kwamen aan de orde in de opdrachten A1 en A7.

Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat bij deze opdrachten progressie optreedt bij resp. ca 38% en 39% van de leerlingen, voor progressie naar expert-knowledge betreft dit resp.ca. 20 en 23% van de leerlingen.

Bij *onderzoeksvraag 3* gaat het om ontwikkeling van kennis van *voorbeelden en principes van regulatie* op de verschillende organisatieniveaus. Hieraan wordt aandacht geschonken in de opdrachten A1 (celniveau), A3 (organismeniveau) en A6 (populatieniveau).

Uit de onderzoeksresultaten blijkt een progressie bij resp. ca. 38%, 70% en 61% van de leerlingen, een progressie naar expert-knowledge is geconstateerd bij resp.ca. 20 %, 59% en 43% van de leerlingen.

Bij onderzoeksvraag 4 staat de kennisontwikkeling over de *bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem* bij de mens centraal en het vermogen om deze kennis toe te passen op het verschijnsel *koorts*.

De bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem is onderwerp van de opdrachten A3, A5 en A7, hierbij zijn de progressie-percentages resp. 70, 43 en 39, progressie naar expert knowledge is er bij resp. ca. 59%, 32% en 23% van de leerlingen. Bij het aspect koorts (A4) gaat het om een progressie tot ca. 61%, en een progressie tot expert knowledge tot 48 % van de leerlingen.

In materiële zin is daarmee antwoord gegeven op de vier onderzoeksvragen en is samenvattend in kaart gebracht in hoeverre leerlingen in toenemende mate gebruik zijn gaan maken van de centrale vakinhoudelijke concepten van het curriculum.

Op de vervolgvraag welke betekenis aan deze cijfers kan worden toegekend of -in andere woorden- in hoeverre daarmee in deze groepen de vakinhoudelijke doelen van het curriculum (in voldoende mate) werden bereikt, zal worden ingegaan in § 6.7.

6.5.3 Woordassociaties bij sleutelbegrippen

6.5.3.1 Doel en instrument

Doel van dit onderdeel was om te onderzoeken hoe het vocabulaire in verband met drie centrale begrippen uit het onderwijsontwerp zich bij leerlingen ontwikkelde tussen de drie meetmomenten M1, M2 en M3. Hiervoor is een eenvoudige associatiemethode gebruikt: de drie sleutelbegrippen werden aan de leerling voorgelegd en gevraagd werd om bij elk begrip een lijstje te maken van woorden die in verband met dit begrip bij hem/haar opkwamen. De opdrachten betreffen de volgende drie sleutelbegrippen, die in de onderzoeksvragen 1, 2 en 3 aan de orde komen:

opdracht B1 - wisselwerking tussen organisme en omgeving / OZ 1,

opdracht B2 - biologische regelingen / OZ 3,

opdracht B3 - levend systeem / OZ 2.

6.5.3.2 Bewerking en analyse van de gegevens

Bij de bewerking van de gegevens zijn eerst per meetmoment de termen in de lijstjes van de leerlingen geïnventariseerd. Op basis hiervan werden categorieën gevormd waarin de leerlingenantwoorden konden worden ondergebracht en waarmee ook het gebruik van specifieke termen en deelbegrippen uit het leerlingmateriaal zichtbaar gemaakt kon worden. De uitkomsten van het categoriseren van de leerlingreacties zijn in tabelvorm weergegeven, waarbij per school en per meetmoment het aantal leerlingen is vermeld dat gebruik maakte van een of meer termen, passend in de betreffende categorie. Daarbij kwam het regelmatig voor dat een leerling verschillende woorden gebruikte zodat in meerdere categorieën werd gescoord. Hierdoor is het totale aantal scores per meetmoment soms groter dan het aantal leerlingen per groep.

6.5.3.3 Opdrachten

Hierna worden de drie opdrachten besproken, waarbij achtereenvolgens per opdracht een typering met toelichting wordt gegeven, het gehanteerde categorieënsysteem wordt toegelicht en de uitkomsten in tabelvorm worden vermeld en van commentaar voorzien.

Opdracht B 1 / Sleutelbegrip: *Wisselwerking tussen organisme en omgeving*

Typering: In het leerlingenmateriaal neemt dit begrip vanaf het begin een prominente plaats in, en komt in verschillende paragrafen aan de orde. In § 2 en 3 wordt het begrip geïntroduceerd aan de hand van het voorbeeld van *stof- en gastransport* (materiestromen) bij eencellige en meercellige organismen. Later wordt -in § 5- als voorbeeld van een energiestroom de uitwisseling van *energie* (in de vorm van warmte) tussen een hoger organisme en de omgeving besproken, terwijl in § 9 aan de hand van het regelkringschema ook de verwerking en uitwisseling van *informatie* aan de orde komt.

Categorieën: Op elk van de drie meetmomenten zijn door de leerlingen namen genoteerd van *stoffen en/of gassen* die organisme en omgeving (kunnen) uitwisselen. Daarnaast wordt een aantal *processen en/of verschijnselen* genoemd in verband met dit stof-/gas-transport. Incidenteel is ook de term contractiele vacuole gevonden, als voorbeeld van een organel dat betrokken is bij deze wisselwerking en wordt in verband met energie(transport) de term *warmte* aangetroffen. Voorts noteren leerlingen soms termen die samenhangen met *regulatie*(processen), en zijn ook termen gevonden die aansluiten op de *systeembenadering* van het verschijnsel 'wisselwerking'.

S/G	Termen ivm. Stof-/Gas(transport), bijv. stoffen/gassen, en/of processen, zoals O ₂ , CO ₂ , H ₂ O, osmose, diffusie, uitscheiding, afvalstoffen, voedsel.
Wa	Termen ivm. warmte-transport, bijv. temperatuur, warmte, kou, straling, (te)warm, (te)koud.
CV	Contractiele vacuole
Reg	Termen ivm. regulatie(processen), bijv. sensor, regulatiecentrum, setpoint, negatieve feedback, regelschema, homeostatische regelingen.
Sys	Termen ivm. een systeembenadering bijv. milieu intérieur/extérieur, systeemomgeving, geregeld systeem.

Uitkomsten

De uitkomsten op M1 geven aan dat -voorafgaand aan de lessenreeks- veel van de leerlingen in school 1 (S1) en school 2 (S2) al aan de hand van *voorbeelden* van stof-/gastransport (materiestromen) en -in mindere mate- van voorbeelden van warmtetransport (energiestroom) een invulling geven aan dit sleutelbegrip. In school 3 (S3) gebeurt dit slechts op beperkte schaal.

In de lessenreeks wordt het voorbeeld van materiestromen als eerste gebruikt. Dit lijkt dus een goede keuze, omdat daarmee kennelijk wordt aangesloten op aanwezige voorkennis over dit begrip.

Afb. 6.12 Aantal geassocieerde woorden per categorie bij opdracht B 1

	S1			S2			S3			Tot.		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
S/G	10	17	17	17	21	19	3	4	4	30	42	40
Wa	8	6	4	5	15	3	-	1	1	13	22	8
CV	-	4	-	-	3	-	-	1	-	-	8	-
Reg	-	-	-	-	6	2	-	2	-	-	8	2
Sys	-	2	3	-	7	2	-	2	1	-	11	6
Tot	18	29	24	22	52	26	3	10	6	43	91	56

De door leerlingen gegeven *voorbeelden* van *stof-/gastransport* blijven in elk van de drie scholen in het hele traject een grote plaats innemen, en nemen soms zelfs in aantal toe. Dit zou kunnen samenhangen met de ruime aandacht die in de eerste paragrafen van het lesmateriaal aan materiestromen is besteed, en waardoor uitbreiding en/of meer diepgang is gegeven aan de aanwezige voorkennis.

Direct na afloop van de lessenreeks noemen enkele leerlingen de *contractiele vacuole*, het orgaan dat een belangrijke functie vervult bij de verwerking van water door het eencellig organisme dat in § 1 en 2 van het leerlingenmateriaal is besproken.

Het *voorbeeld* van de *uitwisseling van warmte* wordt alleen in school 2 (S2) direct na afloop van de lessenreeks door meer leerlingen gebruikt dan in beide andere scholen; op M3 is in S2 een sterke terugval in gebruik zichtbaar. Nieuwe elementen uit het leerlingenmateriaal worden -op M2 en M3- voornamelijk door leerlingen in school 1 (S1) en school 2 (S2) genoemd. In elk van de scholen zijn er op M2 en M3 leerlingen die gebruik maken van termen die passen bij de meer abstracte benadering van biologische systemen en regulatie die ook in het leerlingenmateriaal aan de orde komt. In school 2 (S2) is er op dit punt direct na afloop van de lessenreeks een duidelijke winst geboekt, die op M3 weer grotendeels is verdwenen. Dit komt overeen met wat met betrekking tot het aspect 'warmtestromen' werd geconstateerd. Bij vergelijking van M1 en M2 blijkt dat er in elk van de scholen een toename is van de scores in een of meer van de categorieën: leerlingen beschikken op M2 over een ruimer vocabulaire om het sleutelbegrip te typeren dan op M1. Op M3 vertoont deze weer een terugval, hoewel de totale score hoger blijft dan op M1.

Opdracht B 2 / Sleutelbegrip: Biologische regelingen

Typering: In het leerlingenmateriaal komen in verschillende paragrafen -op de organisatieniveaus cel, organisme en populatie- voorbeelden van biologische regelingen aan de orde. In vervolg hierop worden algemene kenmerken en principes van biologische regulatie behandeld in § 4 en § 9.

Categorieën: Op elk van de drie meetmomenten bevatten de lijstjes van de leerlingen *voorbeelden* van biologische regelingen, voornamelijk op organismeniveau. Voorts worden ook andere termen gebruikt die in het leerlingenmateriaal voorkomen, met name in verband met *regulatie*(processen) en met een *systeembenadering* van deze regelingen.

- Vb Voorbeelden van regelingen cq. gereguleerde orgaanstelsels,
bijv. lichaamstemperatuur(regeling), ademhaling(stelsel), osmoregulatie, hormoonhuishouding,
menstruatie, honger, dorst.
- Reg Specifieke termen, gebruikt in het lesmateriaal i.v.m. biologische regelingen,
bijv. sensoren, set-point, feed-back.
- Sys Termen i.v.m. systeembenadering,
bijv. milieu intérieur/extérieur.

Uitkomsten

Het aantal leerlingen dat *concrete voorbeelden* noemt, vertoont in school 1 (S1) en school 2 (S2) -bij vergelijking van M1 met M3- een duidelijke afname. In school 3 (S3) is dit aantal stabiel. In de voorbeelden van biologische regelingen die worden genoemd, is op M1 een grote spreiding aanwezig; op M2 overheerst het voorbeeld van temperatuurregulatie, en wordt in veel mindere mate ademhaling als voorbeeld genoemd. Dit zou kunnen samenhangen met de prominente plaats die het onderwerp 'temperatuurregulatie' in het lesmateriaal inneemt. In elk van de groepen worden op M2 en M3 'nieuwe' termen gevonden, ontleend aan de leerlingentekst.

Bij vergelijking van M1 en M2 is er sprake van een zekere verschuiving van associaties in de richting van de meer abstracte categorieën *regulatie* en *systeembenadering*. Bij vergelijking van M2 en M3 blijft in school 1 (S1) de score in de categorie regulatie stabiel, in school 2 (S2) en school 3 (S3) is er een lichte teruggang. Over de hele linie nemen termen die scoren in de (meer) abstracte categorieën regulatie en systeembenadering op M3 30-50% van de totaalscore in. Het totale aantal termen dat op elk van de drie meetmomenten wordt geassocieerd blijft per school vrijwel hetzelfde.

Afb. 6.13 / Aantal geassocieerde woorden per categorie bij opdracht B 2

	S1			S2			S3			Tot.		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Vb	17	10	8	24	11	16	9	6	9	50	27	33
Reg	-	10	10	1	10	8	-	6	4	1	26	22
Sys	-	-	-	-	3	1	-	1	1	-	4	2
Tot	17	20	18	25	24	25	9	13	14	51	57	57

Opdracht B 3 / Sleutelbegrip: *Levend systeem*

Typering: De systeembenadering vormt een van de grondslagen van het ontwerp en is als zodanig ook in het leerlingmateriaal te vinden. Het begrip levend (of biologisch) systeem wordt in het materiaal vanaf § 4 regelmatig gebruikt en wordt in diverse paragrafen uitgewerkt aan de hand van voorbeelden als wisselwerking tussen systeem en systeemomgeving, systeemregulatie etc.

Categorieën: In de lijstjes zijn veel *concrete aanduidingen* van levende systemen aangetroffen; daarnaast maken leerlingen ook gebruik van *abstracte aanduidingen* als organisme, populatie etc. De term *superorganisme* wordt na afloop van de lessenreeks enkele malen aangetroffen, evenals *eigenschappen of kenmerken* van levende systemen.

- Con Concrete aanduidingen van levende systemen,
bijv. boom, mens, bos, moeras, cellen, hart.
- Abs Abstracte aanduidingen van levende systemen,
vb. organisatienivo's: cel, organisme, populatie.
- SO Term superorganisme
- DK Definities, omschrijvingen of kenmerken van levende systemen,
bijv. beweging, voortplanting.
- Nad Niet-adequate reactie,
dit betreft termen die buiten de biologisch-inhoudelijke thematiek vallen.

Uitkomsten

In elk van de scholen is er bij vergelijking van M1 met M2 een duidelijke afname van het gebruik van concrete voorbeelden; op M3 neemt dit aantal weer enigszins toe, maar blijft onder het niveau van M1.

Het gebruik van abstracte voorbeelden vertoont in alle scholen een duidelijke piek op M2; er is daarna sprake van terugval, maar in S1 en S2 blijft een duidelijke winst zichtbaar ten opzichte van M1.

Afb. 6.14 / Aantal geassocieerde woorden per categorie bij opdracht B 3

	S1			S2			S3			Tot.		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Con	16	5	7	16	8	10	12	7	10	44	20	27
Abs	4	12	8	1	7	5	3	7	3	8	26	14
SO	-	8	3	-	3	3	-	-	-	-	11	6
DK	10	11	9	14	11	9	6	5	6	30	27	24
Nad	-	1	-	1	1	10	1	-	3	2	2	13
Tot	30	37	27	32	30	37	22	19	22	84	86	84

Het voorbeeld 'superorganisme', dat ook tot deze categorie behoort en waaraan in het materiaal in § 11 aandacht is besteed, wordt direct na de lessenserie -op M2- door een aantal leerlingen genoemd. Het aantal leerlingen dat definities of kenmerken van het begrip levend systeem invult, omvat gemiddeld ca. 30 % van de leerlingen. De categorie 'niet-adequate reactie' heeft betrekking op reacties van een aantal leerlingen die de opdracht '-blijkens hun antwoorden- niet serieus hebben genomen. Dit was met name op M3 het geval in school 2 (S2), waar aan het einde van het onderzoekstraject mogelijk sprake was van een zekere enquête-moeheid.

6.5.3.4 Conclusies

Nagenoeg alle termen die in de lijstjes van leerlingen zijn aangetroffen, pasten binnen de (biologische) thematiek van de lessenreeks, dat wil zeggen dat de opdrachten door leerlingen serieus zijn uitgewerkt. Slechts bij uitzondering werden termen gevonden die niet biologisch-adequaat of onjuist waren. Deze zijn -gezien het lage aantal- bij de opdrachten B1 en B2 niet gescoord. Ook bij B3 werden geen 'vakinhoudelijk onjuiste' termen gevonden; wel waren hier zgn. 'niet-adequate reacties', d.w.z. antwoorden die niet als een serieuze reactie op de opdracht konden gelden.

In elk van de scholen is -zoals verwacht mocht worden- op M2 in ruimere mate gebruik gemaakt van termen en begrippen die in het materiaal aan de orde komen dan op M1. Daarbij is met name ook een verschuiving te zien van het gebruik van termen die op concreet niveau liggen in de richting van termen met abstracte inhoud. Bij opdracht B1 is op M2 het aantal gebruikte termen in elk van de scholen duidelijk groter dan dat op M1 en M3. Bij de opdrachten B2 en B3 is er weinig verschil in het aantal gebruikte termen per meetmoment.

In verband met *onderzoeksvraag 1* kan samenvattend worden opgemerkt dat bovenstaande uitkomsten wijzen op een uitbreiding van de woordenschat van de leerlingen rond het begrip *wisselwerking tussen organisme en omgeving*, wat tot uiting komt in het gebruik van nieuwe, aan het lesmateriaal ontleende termen.

Voor wat betreft *onderzoeksvraag 2* is er sprake van een toename van het gebruik van termen die in het lesmateriaal worden gebruikt in verband met het begrip *levend systeem*, ondermeer het begrip *superorganisme*. Hierbij is een verschuiving te zien van concrete voorbeelden in de richting van meer abstracte aanduidingen.

Ten aanzien van *onderzoeksvraag 3* is bij dit onderdeel gebleken dat leerlingen in verband met het begrip *biologische regelingen* na afloop van de lessenreeks hun vocabulaire vervangen door termen uit het leerlingenmateriaal. Deze termen zijn tevens vaak abstracter van aard dan de voorheen gebruikte.

6.5.4 Schema's bij sleutelbegrippen

6.5.4.1 Doel en instrument

In dit onderdeel wordt onderzocht welke schema's door leerlingen worden gemaakt met behulp van de woorden die zijn ingevuld bij de opdrachten die in § 6.5.3 zijn besproken. Daarbij werd er ook op gelet in hoeverre leerlingen gebruik maken van schema's die in het leerlingenmateriaal zijn gepresenteerd. In verband hiermee werd dit onderdeel alleen op M2 en M3 aan de leerlingen voorgelegd.

De opdracht die aan de leerlingen werd gegeven, lag in het verlengde van de B-opdrachten die hiervoor werden besproken; gevraagd werd om met gebruikmaking van de woorden die bij elk van de sleutelbegrippen waren genoteerd een schema te maken van het betreffende sleutelbegrip.

Bij dit onderdeel deden zich bij het verzamelen van gegevens enkele problemen voor. In alle scholen deden zich bij deze laatste opdracht verschijnselen van enquête-moeheid voor waardoor zowel op M2 als op M3 onvolledige gegevens werden verzameld. In school 3 (S3) bleken bij deze laatste opdracht op beide meetmomenten bij zoveel leerlingen de schema's te ontbreken dat deze groep niet is meegenomen in de analyse; ook in school 2 (S2) was sprake van een groot aantal ontbrekende gegevens: hier hebben slechts 15 (van de 29) leerlingen op beide meetmomenten (M2 en M3) schema's gemaakt. In school 1 (S1) betreft dit 15 (van de 18) leerlingen.

6.5.4.2 Bewerking en analyse van de gegevens

Uit de gegevens bleek dat een deel van de leerlingen gebruik maakte van schema's of schemavormen die in het leerlingenmateriaal voorkwamen. Dit betrof voornamelijk de figuren 4 (invulschema wisselwerking eencellig organisme met omgeving) en 10 (regelkringschema), en soms de figuren 5 (invulschema wisselwerking meercellig organisme met omgeving) en 8 (schema temperatuurregulatiesysteem), in diverse varianten. Deze werden op grond van de mate van overeenkomst met de bekende schema's getypeerd als exacte versie, versie op hoofdlijnen, en vrije versie. Andere leerlingen maakten eigen schema's, dat wil zeggen meer of minder originele schetsen, waarin (sommige van de) opgeschreven woorden waren verwerkt.

Weer anderen maakten pijlenschema's, dat wil zeggen dat de diverse woorden in een rij of min of meer stervormig waren gerangschikt en door pijlen verbonden. In enkele gevallen maakten leerlingen een schema, dat overeenkwam met figuur 10 uit het leerlingenmateriaal, maar dit regelkringschema betrof de regulatie van hazen en lynxen. Tenslotte waren er leerlingen die geen schema hadden gemaakt, maar alleen een tekst gaven, of een niet-interpreteerbaar schema.

6.5.4.3 Opdrachten

Opdracht C 1 / Sleutelbegrip: Wisselwerking tussen organisme en omgeving

Uitkomsten

Afb. 6.15 / Schematypen door de leerlingen gebruikt bij de beantwoording van opdracht C 1

Type	S1 (n=15)		S2 (n=15)	
	M2	M3	M2	M3
Fig. 4 Exact	5	6	-	-
Hoofddlijnen	2	2	2	2
Vrije versie	1	1	2	2
Fig. 10 Exact	1	-	2	-
Hoofddlijnen	-	-	1	1
Vrije versie	-	-	1	1
Pijlen	2	1	4	4
Eigen Schema	3	4	2	2
Tekst	1	1	1	1
Niet-interpreteerbaar	-	-	-	2

In school 1 (S1, N=15)) maakt ca. 50% van de leerlingen op beide meetmomenten een schema dat refereert aan figuur 4 in de leerlingentekst. Meer dan de helft van deze getekende schema's komt exact overeen met het bekende schema. Bij vrijwel al deze leerlingen blijft deze nauwkeurigheid op M3 behouden. Voorts maken 5 leerlingen (ca. 35%) een pijlen- of eigen schema. Hier bleek bij 4 leerlingen sprake van een stabiel beeld. Bij vergelijking van M2 en M3 is in S1 de stabiliteit per leerling groot, nl. bij 12 (van de 15) leerlingen (80%) .

In school 2 (S2) gebruikt ca. 50 % van de leerlingen (N=15) een schema dat refereert aan een figuur in de leerlingentekst, maar hier betreft het figuur 4 of figuur 10. Pijlen- of eigen schema's worden door 6 leerlingen gemaakt. Bij de leerlingen van S2 bleek de stabiliteit klein te zijn: slechts bij 2 leerlingen is er sprake van een gelijkblijvende categorisering (13%). Naast wat hiervoor over de stabiliteit in schema's is vermeld, valt bij veel leerlingen in S1 op dat de schema's nauw aansluiten op de figuren in de leerlingentekst; dit is bij de leerlingen in S2 in veel mindere mate het geval.

*Opdracht C 2 / Sleutelbegrip: Biologische regelingen**Uitkomsten*

In school 1 (S1, N=15)) maakt zowel op M1 als M2 ruim 50% van de leerlingen een schema dat refereert aan figuur 10 uit het leerlingenmateriaal. Het merendeel van deze leerlingen tekent een exacte versie. Ruim de helft van deze groep gebruikt dit type schema zowel op M2 als op M3 (6 lln.): hier is bij ca. 70% sprake van een stabiele situatie. Door 6 leerlingen (ca.40%) wordt een pijlen of eigen schema getekend; vier van hen maken zowel op M2 als op M3 dit schema (ca. 65%).

Afb.6.16 / Schematypen door de leerlingen gebruikt bij de beantwoording van opdracht C2

Type		S1 (n=15)		S2(n=15)	
		M2	M3	M2	M3
Fig.10	Exact	6	4	6	2
	Hoofddlijnen	2	5	2	2
	Vrije versie	-	-	1	1
Hazen-lynxen		-	-	1	1
Pijlen		1	1	3	2
Eigen schema		5	5	-	1
Tekst		1	-	1	-
Niet-interpreteerbaar		-	-	1	6

In school 2 (S2, N=15) wordt op M2 door ca. 60 % van de leerlingen (9) een schema gemaakt dat overeenkomt met figuur 10. Vier van deze leerlingen gebruiken dit schema opnieuw op M3. Door 3 leerlingen (ca. 20%) wordt op M1 en M2 een pijlen- of eigen schema getekend; bij 2 is er een stabiele situatie.

In totaal is er bij 6 leerlingen (ca.40%) een stabiel beeld.

Bij deze opdracht blijkt bij vergelijking van de schema's, gemaakt op M2 en M3, dat de leerlingen van S1 verhoudingsgewijs een stabiel beeld vertonen dan de leerlingen van S2. Voorts is bij deze vraag eenzelfde tendens zichtbaar als bij de voorgaande vraag: veel leerlingen van S1 komen met schema's die nauwkeurig refereren aan de figuren uit het leerlingenmateriaal.

*Opdracht C 3 / Sleutelbegrip: Levend systeem**Uitkomsten*

In school 1 (S1, N=15) maken 10 leerlingen (ca. 65%) bij deze opdracht een pijlen- of eigen schema. In de meeste schema's worden de bij opdracht B3 genoemde voorbeelden van levende systemen in een hiërarchische volgorde geplaatst, of worden kenmerken van een levend systeem met elkaar verbonden. Bij 4 van deze leerlingen is sprake van een stabiele situatie: op M2 en M3 zijn de schema-typen overeenkomstig. Op M2 en M3 worden door in totaal 6 leerlingen schema's getekend die zijn gebaseerd op de figuren 4 (1x), 5 (3x) en fig. 10 (2x) uit het leerlingenmateriaal.

Afb. 6.17 / Schematypen door de leerlingen gebruikt bij de beantwoording van opdracht C 3

Type		S1 (n=15)		S2 (n=15)	
		M2	M3	M2	M3
Fig. 4	Exact	-	-	-	-
	Hoofddlijnen	-	-	-	1
	Vrije versie	-	1	1	-
Fig. 5	Exact	1	1	-	-
	Hoofddlijnen	-	-	-	-
	Vrije versie	-	1	-	-
Fig. 10	Exact	-	-	1	1
	Hoofddlijnen	1	-	1	1
	Vrije versie	1	-	-	1
Hazen-Lynxen		-	-	-	2
Pijlen		2	3	1	2
Eigen Schema		8	7	2	2
Tekst		1	-	1	-
Niet-interpreteerbaar		1	2	6	5

In school 1 is er bij 5 leerlingen (ca. 33%) sprake van een stabiele situatie. Gezien het relatief hoge aantal niet-interpreteerbare schema's (resp. 6 en 5) lijkt het erop dat in school 2 (S2) deze laatste opdracht aan het eind van het onderzoekstraject door een aantal leerlingen minder serieus is genomen. Uit de tabel blijkt dat pijlen- en eigen schema's op M2 en op M3 resp. 3 en 4 maal zijn aangetroffen. Ditzelfde geldt voor schema's die zijn gebaseerd op figuren uit het leerlingenmateriaal. Slechts 2 van de leerlingen (ca. 15%) vertonen een stabiel beeld.

6.5.4.4 Conclusies

In het kader van de tweede onderzoeksvraagstelling (§ 6.2) kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Bij de opdrachten C1 en C2 produceert in school 1 (S1, N=15) ca.50 % van de leerlingen een schema dat aansluit op de informatie en de schema's in het leerlingenmateriaal (respectievelijk figuur 4 en figuur 10). Bij opdracht C3 wordt door ca.50% van de leerlingen een eigen schema getekend, door de overigen een schema dat aansluit op het leerlingenmateriaal. Bij vergelijking van de twee meetmomenten zijn in S1 de bij de drie opdrachten getekende schema's vrijwel identiek bij resp. ca. 80, 65 en 33% van de leerlingen. In school 2 (S2, N=15) worden naar aanleiding van opdracht C1 schema's gemaakt die aansluiten op figuur 4 of figuur 10 uit het leerlingenmateriaal. Bij opdracht C2 maakt ca. 50% van de leerlingen een schema dat overeenkomt met fig.10 uit het leerlingenmateriaal. De uitkomsten van opdracht C3, die betrekking hebben op slechts ca. 10 leerlingen, laten voornamelijk pijlen- of eigen schema's zien. In S2 is bij vergelijking van M2 met M3 bij de drie opdrachten stabiliteit in de getekende schema's aangetroffen bij resp. ca. 13, 40 en 15 % van de leerlingen.

Het verschijnsel dat in beide scholen bij opdracht C3 in ruimere mate eigen schema's voorkomen, kan samenhangen met het feit dat in het leerlingenmateriaal geen specifiek schema van een levend systeem is gegeven. Bij deze opdracht konden leerlingen niet van een bekend (voor-)beeld in het materiaal uitgaan.

Samenvattend wordt opgemerkt dat de schema's van de leerlingen in S1 zowel qua inhoud als qua vormgeving preciezer aansluiten op de in het leerlingenmateriaal aangeboden informatie dan in S2. Wellicht hebben veel leerlingen van S1 de vorm en inhoud van de schema's in de leerlingentekst ook als 'leer'stof beschouwd en benaderd, en zijn deze figuren door deze leerlingen -gezien het waargenomen stabiele lange termijn effect- a.h.w. preciezer uit het hoofd geleerd. Mogelijk hebben de leerlingen in S2 de schema's veel meer als een hulpmiddel beschouwd en minder aandacht aan de precieze vorm en inhoud geschonken. Bij vergelijking van M2 en M3 bleek dat over de hele linie in S2 minder stabiliteit in de getekende schema's werd aangetroffen dan in S1.

De voorgaande opdrachten hebben alleen gegevens opgeleverd over kennis van leerlingen op M2 en M3; een vergelijking met gegevens over voorkennis, dwz. voorafgaand aan de lessenreeks kan niet worden gemaakt. In de beantwoording van de onderzoeksvragen kan het kennisontwikkelingsaspect dan ook minder naar voren komen dan bij de andere onderdelen van het longitudinale onderzoek.

In verband met *onderzoeksvraag 1* kan worden vastgesteld dat ongeveer 50% van de leerlingen in S1 het begrip *wisselwerking tussen organisme en omgeving* zowel op M2 als M3 schematiseert in een vorm die aansluit op een schema uit het leerlingenmateriaal. In school 2 (S2) betreft dit ca. 25% van de leerlingen.

Ten aanzien van *onderzoeksvraag 2* is gebleken dat ca. 50% van de leerlingen van school 1 (S1) voor het schematiseren van het begrip *levend systeem* een eigen tekening maakt. Bij school 2 (S2) zijn de uitkomsten moeilijk te interpreteren.

In verband met *onderzoeksvraag 3* komt naar voren dat op M2 en M3 resp. ca. 50% en 60% van de leerlingen van school 1 (S1) een adequaat schema tekent van een *biologische regulatie*; dit is gebaseerd op het regelkringschema in het leerlingenmateriaal. In school 2 (S2) betreft dit resp. ca. 60% en 30% van de leerlingen.

Overigens dient in verband met de waarde die aan deze uitkomsten mag worden toegekend, te worden gewezen op het feit dat bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op gegevens van aanzienlijk minder respondenten dan bij de andere opdrachten het geval was. Wellicht heeft de veronderstelde enquête-moeheid bij sommige leerlingen ook de vorm en inhoud van de geproduceerde schema's beïnvloed, waardoor een niet-optimaal beeld van de leereffecten is verkregen.

6.6 Onderzoek van proefwerkresultaten

Ongeveer een week na afloop van de lessenserie is door middel van een proefwerk de kennis getoetst die de leerlingen van de drie scholen hadden verworven (Bijlage 6-4). Dit proefwerk werd opgesteld in samenspraak tussen de auteur en de verantwoordelijke docenten van school 1 (S1) en school 2 (S2) en werd ook gebruikt in school 3 (S3), waar enige tijd later met het ontwerp 'Geregeld overleven' werd gewerkt. In de drie scholen werden via het proefwerk dezelfde opdrachten en vragen aan de leerlingen voorgelegd. Het aantal deelnemers cq. respondenten bedroeg in school 1 (S1) 18, in school 2 (S2) 27 en in school 3 (S3) 19.

Met dit proefwerk is een andersoortige momentopname van kennis gemaakt in het traject van kennisontwikkeling. Om die reden wordt deze meting van het direct na de lessenreeks behaalde leerresultaat gebruikt als een aanvulling op de uitkomsten van het longitudinale onderzoek.

6.6.1 Vraagstelling en werkwijze

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen in hoeverre leerlingen na afloop van de lessenreeks beschikken over kennis van de vakinhoudelijke onderzoeksthema's, die ook in het longitudinale onderzoek aan de orde waren (§ 6.2) en om -door vergelijking met de uitkomsten van het longitudinale onderzoek- aanvullende antwoorden te geven op de onderzoeksvragen die zijn vermeld in § 6.5.1. Gezien de inhoud van het proefwerk is het vergelijkingsmateriaal bij de vier onderzoeksvragen verschillend van omvang. Dit komt voort uit het feit dat de onderzoeksmatige optiek niet is gehanteerd bij het samenstellen van het proefwerk: in het proefwerk ligt een relatief sterk accent op voorbeelden en principes van regulatie, met name op organismeniveau. Het grootste deel van de uitkomsten betreft dan ook het vakinhoudelijke thema van onderzoeksvraag 3 uit het longitudinale onderzoek, waar het gaat om kennis van voorbeelden en principes van regulatie (zie § 6.2).

6.6.2 Bewerking en analyse van de gegevens

De proefwerken zijn eerst -als onderdeel van in de scholen gebruikelijke beoordelingsprocedures- door de verantwoordelijke docenten gecorrigeerd en becijferd.

Vervolgens zijn de gegevens van de leerlingen voor een nadere analyse in het kader van dit onderzoek ter beschikking gekomen. De wijze waarop de gegevens zijn bewerkt komt op hoofdlijnen overeen met de procedure die is gevolgd bij het categoriseren van de gegevens uit het longitudinale onderzoek. Uitgaande van de proefwerkvragen zijn de kennisaspecten aangewezen die gebruikt dienden te worden om tot een adequate beantwoording van de betreffende vraag te komen. Een adequaat gebruik van deze samenstellende elementen is een indicatie voor vak-deskundigheid, en wordt ook hier aangeduid als *expert knowledge*.

Als volgende stap in de analyse zijn de leerlingenantwoorden bestudeerd. Hierbij werden de antwoorden geïnventariseerd en werden per vraag antwoordcategorieën omschreven waarin de essentiële kenniselementen die in de betreffende vraag aan de orde worden gesteld, tot uitdrukking komen. Uiteindelijk werden de categorieën per vraag in een ordinale volgorde geplaatst waarbij als criterium werd gehanteerd de mate van expert knowledge zoals deze mocht worden verwacht op grond van de inhoud van het lesmateriaal.

Met het oog op de betrouwbaarheid van de analyse werden in dit deelonderzoek dezelfde maatregelen getroffen als beschreven in § 6.5.2.1. Dat wil zeggen dat ook hier door twee beoordelaars onafhankelijk van elkaar werd gescoord en vervolgens de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid werd bepaald. Bij alle vragen was sprake van een hoge mate van betrouwbaarheid, zoals blijkt uit de kappa-waarden per proefwerk-vraag (Afb.6.18)

Afb.6.18 / Kappa waarden (Cohen's kappa) voor de codering van kennis m.b.t de proefwerkvragen

Proefwerkvraag	kappa
1	0.91 (0.85 ≤ k ≤ 0.98)
2	0.94 (0.90 ≤ k ≤ 0.97)
3	0.89 (0.82 ≤ k ≤ 0.95)
4	0.92 (0.86 ≤ k ≤ 0.98)
5	0.88 (0.81 ≤ k ≤ 0.94)
6	0.91 (0.82 ≤ k ≤ 1.00)
7	0.95 (0.90 ≤ k ≤ 1.00)
8	0.92 (0.85 ≤ k ≤ 0.98)

Tussen haakjes aangegeven: 95% betrouwbaarheidsinterval voor kappa

6.6.3 Resultaten

De resultaten worden hierna per proefwerkvraag gerapporteerd, waarbij per kennisaspect de percentages leerlingen worden gegeven die scoorden in de expert knowledge-categorie. Per proefwerkvraag zijn de percentages per school en over de drie groepen gemiddeld vermeld. De niet-vermelde, resterende percentages per item hebben betrekking op scores buiten de categorie expert knowledge. Bij iedere vraag is per kennisaspect de relatie met het onderzochte vakinhoudelijke thema in code aangegeven (OZ1, OZ2, OZ3, OZ4). Na presentatie van de cijfermatige gegevens worden per proefwerkvraag de resultaten besproken en vergeleken met uitkomsten van het longitudinale onderzoek.

Vraag 1

In deze vraag staan de overlevingsproblemen en -mogelijkheden centraal van twee typen eencelligen die in zout water kunnen voorkomen.

Expert knowledge die in de antwoorden mag worden verwacht, heeft betrekking op de werking en functie van de contractiele vacuole, op het begrip osmose, op de aanpassingsmogelijkheden van een systeem aan verschillende systeemomgevingen, en op de daarmee verbonden overlevingskansen.

Afb.6.19 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 1

	S1	S2	S3	T
a. werking/functie CV / OZ3	61	62	78	65
b. begrip osmose / OZ3	46	83	77	71
c. wisselwerking met omgeving / OZ1	7	40	78	41
d. overlevingskansen / OZ1	60	41	84	59

De uitkomsten laten zien dat op drie van de vier kennisaspecten ca. 40 - 85 % van de leerlingen scoort in de expert-knowledge categorie. Ten aanzien van het begrip osmose is het percentage leerlingen in school 1 (S1) dat in de expert knowledge-categorie scoort duidelijk lager dan in de beide andere scholen; in het verlengde hiervan ligt de score op het aspect wisselwerking met de omgeving; om dit aspect van deze vraag adequaat te kunnen uitwerken is kennis van osmose onmisbaar.

Voor de sterk uiteenlopende scores op dit aspect kan verder geen verklaring worden gegeven.

Bij het omschrijven van de overlevingskansen maken veel leerlingen van S2 gebruik van verwijzingen of verklaringen waarin wisselingen in osmolariteit van de omgeving als doorslaggevend worden beschouwd voor de overlevingskansen, zonder dat het 'voordeel' van het bezit van een contractiele vacuole hierbij wordt betrokken.

Hoewel door veel leerlingen van S2 de werking en functie van de contractiele vacuole adequaat is getypeerd, wordt het verband met de overlevingskansen van het organisme door een aantal van deze leerlingen niet gelegd. Een causale benadering blijft hier de overhand houden boven een functioneel-biologische.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* (opdracht A1) blijkt dat hier een hoger gemiddeld percentage leerlingen blijkt geeft van kennis op het niveau van expert knowledge van het begrip osmose en van de werking van de contractiele vacuole.

In vergelijking met de uitkomsten bij opdracht C1 is de lage score in S1 op het aspect wisselwerking met de omgeving (c) verrassend, omdat bij opdracht C1 zowel op M2 en M3 ca. 50% van deze leerlingen een adequaat schema kon tekenen, waarin deze wisselwerking tot uitdrukking werd gebracht.

Vraag 2

In deze vraag gaat het om de werking van het temperatuurregulatiesysteem en -meer specifiek- om de rol die de hypothalamus daarin speelt. Dit systeem heeft in het lesmateriaal centraal gestaan als voorbeeld van een regulatiesysteem op organismeniveau. Er is sprake van expert knowledge als wordt aangegeven dat als gevolg van het bericht vanuit de hypothalamus door verwijding van bloedvaten in de huid, cq. verwarming van de huid, afkoeling kan optreden.

Afb.6.20 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 2

	S1	S2	S3	T
a. relatie hypothalamus-verwarming huid / OZ4	48	47	76	54

De uitkomsten van deze vraag laten zien dat ca.50-75 % van de leerlingen over expert-knowledge beschikt met betrekking tot dit werkingsaspect van het temperatuurregulatiesysteem bij de mens.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* (opdracht A5) is het percentage leerlingen dat in deze proefwerkvraag beschikt over expert knowledge over de hele linie lager dan in genoemde opdracht in het longitudinale onderzoek.

Vraag 3

In deze vraag gaat het om verschillen in temperatuurregulatie tussen dieren met een constante en met een niet-constante lichaamstemperatuur. Dit wordt aan de orde gesteld aan de hand van de verschijnselen winterrust en winterslaap. Van expert knowledge is sprake als het verschil tussen winterrust en winterslaap in verband wordt gebracht met het al dan niet voorkomen van een set-point en de rol hiervan.

Afb.6.21 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 3

	S1	S2	S3	T
a. gevolgen afwezigheid set point / OZ3	16	31	(5)	24
b. invloed extern op intern / OZ1	43	60	(19)	53
c. effect set point / OZ3	17	11	(0)	13
d. verschil winterrust/winterslaap / OZ3	11	33	(11)	24

De uitkomsten van deze vraag hebben alleen betrekking op school 1 (S1) en school 2 (S2). In school 3 (S3) was deze vraag als voorlaatste geplaatst: meer dan de helft van deze leerlingen heeft deze vraag -vrijwel zeker door tijdgebrek- niet of fragmentarisch beantwoord. In verband hiermee zijn de percentages van school 3 (S3) tussen haakjes vermeld en niet betrokken bij de berekening van de gemiddelde percentages. Uit de resultaten komt naar voren dat bij slechts een beperkt aantal leerlingen expert-knowledge is gebleken. Bij deze vraag gaat het om een voorbeeld cq. een context

waaraan in de lessenreeks geen aandacht is besteed. Alleen het percentage leerlingen dat scoort op het aspect 'invloed van extern op intern' is redelijk van omvang; in S1 en S2 resp. ca.40 en 60 %.

Dat bij het omschrijven van verschillen tussen winterslaap en winterrust door vrijwel geen enkele leerling gebruik wordt gemaakt van expert-knowledge ligt in het verlengde van de score op de voorgaande aspecten, waaronder het ontbreken van kennis aangaande de invloed van een set-point.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* (opdracht A2) blijkt dat in S1 en S2 de expert-score op M2 resp. ca. 50 en 75%, op M3 resp. ca. 63 en 90 %. De bij deze proefwerkvraag geregistreerde percentages expert knowledge vertonen eenzelfde tendens, maar liggen lager. Mogelijk was hier sprake van transfer-problematiek: aan de hand van het leerlingmateriaal verkregen kennis kon mogelijk door slechts een beperkt aantal leerlingen in de (nieuwe) context van de proefwerkvraag worden gebruikt.

Vraag 4

Met behulp van deze vraag wordt nagegaan of de leerlingen het onderscheid tussen milieu intérieur en milieu extérieur adequaat kunnen aangeven. In § 4 van het leerlingmateriaal zijn de begrippen geïntroduceerd en worden deze -via een opdracht- in verband gebracht met de vorm- en functiekenmerken van een meercellig organisme.

In het proefwerk wordt het -ook in de biologie gebruikte- begrip milieu intermédiaire geïntroduceerd waarmee -letterlijk en figuurlijk- het tussengebied wordt aangegeven tussen de beide andere.

Van expert knowledge is sprake als wordt aangegeven dat dit milieu intermédiaire direct kan worden beïnvloed vanuit de buitenwereld (het milieu extérieur), en dat er in de longen en het darmkanaal geen geregelde cq. constante evenwichtsituaties zijn.

Afb.6.22 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 4

	S1	S2	S3	T
a. onderscheid milieu intérieur / extérieur / OZ1	44	41	22	36

De uitkomsten van deze vraag laten zien dat ruim 40% van de leerlingen van school 1 (S1) en school 2 (S2) het onderscheid tussen milieu intérieur en milieu extérieur op adequate wijze kan aangeven. Van de leerlingen in school 3 (S3) is dit ca. 20%. Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* blijkt dat bij opdracht B1 (rond het sleutelbegrip 'wisselwerking tussen organisme en omgeving') op M2 en M3 door ca. 10% van de leerlingen van school 1 (S1) en school 2 (S2) gebruik wordt gemaakt van systeem-terminologie, waaronder de bovengenoemde termen.

Vraag 5

In deze vraag wordt aan de leerlingen een tekst met gegevens over een biologische regulatie voorgelegd met de opdracht om deze informatie weer te geven in een regelkringschema, en om (tevens) te beoordelen of er sprake is van een homeostatische regulatie. Op grond van de inhoud van het leerlingenmateriaal mag als expert knowledge verwacht worden kennis van de opzet en de onderdelen van een regelkringschema, zoals dit is gebruikt in het leerlingenmateriaal (o.a. in § 9), en vaardigheid in het hanteren van criteria om te beoordelen of er sprake is van een homeostatische regulatie (§ 9).

Afb.6.23 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 5

	S1	S2	S3	T
a. invloed van buiten / OZ3	52	58	-	56
b. constante factor intern / OZ3	18	48	-	36
c. sensor / OZ3	45	32	-	38
d. regelcentrum / OZ3	28	33	-	31
e. correcties / OZ3	22	37	-	32
f. begrip homeostatische regulatie / OZ3	57	54	-	55

De uitkomsten van deze vraag hebben alleen betrekking op school 1 (S1) en school 2 (S2). In school 3 (S3) was deze vraag aan het einde van het proefwerk geplaatst en is door slechts 2 (van de 19) leerlingen van S3 beantwoord. De uitkomsten van deze school zijn daarom niet in de analyse betrokken. De percentages in de T-kolom betreffen het gemiddelde van S1 en S2.

De resultaten laten zien dat in S1 de expert-knowledge scores met betrekking tot de verschillende elementen van een regelkringschema sterk variëren. In deze school scoren de elementen 'constante factor intern', 'regelcentrum' en 'correcties' duidelijk lager dan 'invloed van buiten' en 'sensor'. In S2 liggen de percentages over de hele linie hoger en is er minder spreiding.

Opvallend is dat in S1 de 'interne', abstracte structuurelementen van het model het minst op expert knowledge-niveau voorkomen, terwijl op beide scholen bij de 'externe' invloed het hoogste percentage expert knowledge wordt gevonden. Wellicht kunnen leerlingen hierbij gebruik maken van concrete aangrijpingspunten.

Ruim de helft van de leerlingen blijkt op correcte wijze gebruik te maken van de criteria om te beoordelen of er sprake is van een 'homeostatische regulatie'.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* blijkt dat bij opdracht B2 40-50% van de leerlingen een of meer van bovengenoemde termen op adequate wijze associeert. Uit de uitkomsten van opdracht C2 bleek dat ruim 50% van de leerlingen van S1 een regelkringschema kan tekenen dat correct was en waarin de genoemde elementen voorkwamen. Hier bleef de score van S2 achter.

Vraag 6

Van de leerling wordt gevraagd om met behulp van een gegeven schema een aantal vragen te beantwoorden die betrekking hebben op de calciumhuishouding bij de mens. De expert knowledge komt tot uiting in het beoordelen van de effecten van regulatie, in het hanteren van de begrippen 'feed-back' en 'homeostatische regulatie', en in het hanteren en beoordelen van het gegeven schema.

Afb.6.24 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 6

	S1	S2	S3	T
a. effect regulatie / OZ3	80	86	74	81
b. negatieve feedback / OZ3	78	71	95	78
c. begrip homeostatische regulatie / OZ3	56	58	73	62
d. beoordelen schema / OZ3	36	35	30	33

De uitkomsten van deze vraag laten zien dat in elk van de drie scholen een ruime meerderheid van de leerlingen beschikt over expert knowledge aangaande de onderdelen en de werking van een biologisch regelsysteem.

Bij deze vraag geeft meer dan de helft van de leerlingen blijk van expert knowledge aangaande het begrip homeostatische regulatie; dit komt overeen met de uitkomsten van de voorgaande proefwerkvraag 5.

Met het (zelfstandig) beoordelen van het in deze proefwerkvraag gegeven schema heeft op alle scholen een groter deel van de leerlingen moeite. Wellicht hangt dit samen met het feit dat het gegeven schema qua inhoud en opzet niet overeenkwam met het regelkringschema in het leerlingenmateriaal (Fig.10). Ook missen leerlingen wellicht de vaardigheid om een evaluatie van dit type uit te voeren.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* (opdracht A5) blijkt dat op M2 en M3 gemiddeld resp. ca. 75 en 60% van de leerlingen expert knowledge toonde met betrekking tot de werking van een regelkring. Deze percentages stemmen overeen met de percentages expert knowledge die naar voren kwamen bij de elementen a, b en c van de proefwerkvraag.

Bij opdracht C2 bleek in school 1 (S1) en school 2 (S2) ruim 50% van de leerlingen een adequaat schema van een regelkring te kunnen tekenen.

Vraag 7

Gevraagd wordt om een eigen omschrijving te geven van het begrip 'homeostase'. Expert knowledge kan blijken uit een typering van een homeostatische regulatie waarbij de drie samenstellende kenmerken juist zijn gebruikt of uit een correcte omschrijving van homeostase in de zin van een paraplubegrip.

Afb.6.25 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 7

	S1	S2	S3	T
a. begrip homeostase / OZ3	57	76	50	61

Bij de analyse van de leerlingenantwoorden bleek dat slechts weinig leerlingen in staat waren om de gevraagde 'eigen omschrijving' van het begrip te geven; de antwoorden sloten meestal nauw aan op formuleringen in het leerlingenmateriaal.

De uitkomsten van deze vraag laten zien dat in elk van de scholen ca. 50-75% van de leerlingen expert-knowledge bezit aangaande het begrip 'homeostase'.

Deze uitkomsten lopen parallel met de uitkomsten die betrekking hebben op de overeenkomstige kennisaspecten in de proefwerkvragen 5 en 6.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* blijkt dat deze overeenkomen met de uitkomsten van de opdrachten A3, A4 en A5. In deze opdrachten werd het begrip in andere vorm aan de orde gesteld, waarbij het ging om de regelkringaspecten negatieve feed-back en aanwezigheid van een set-point.

Bij deze opdrachten boekten leerlingen -in vergelijking met de andere opdrachten- een grote winst naar het niveau van expert knowledge. De uitkomsten van deze proefwerkvraag lopen hiermee parallel.

Vraag 8

Aan de hand van een beschrijving van het functioneren van een bijenkolonie wordt gevraagd om te beoordelen of hier gesproken kan worden van een 'superorganisme'. Er is sprake van expert knowledge indien in het antwoord naar voren komt dat de organisatie in deze populatie, zich ondermeer uitend in taakverdeling tussen en specialisatie van de individuen, leidt tot een hoge mate van stabiliteit en daarmee tot zelfhandhaving van de populatie.

Afb.6.26 / Percentages leerlingen met expert knowledge bij proefwerkvraag 8

	S1	S2	S3	T
a. concept superorganisme / OZ2	60	59	53	58

De uitkomsten van deze vraag laten zien dat bij ca. 50-60% van de leerlingen antwoorden zijn gevonden op het niveau van expert knowledge: deze leerlingen bleken op een adequate wijze de gegevens over een bijenvolk, die in de proefwerk-vraag waren gegeven, in een systeem- en/of regulatieperspectief te kunnen plaatsen. In de antwoorden van de leerlingen liggen in school 1 (S1) en school 3 (S3) de accenten op aspecten als taakverdeling en specialisatie, en op een -meer algemene- typering van de constante situatie in de kolonie. In school 2 (S2) wijzen daarnaast veel leerlingen op de constante binnentemperatuur en de regulatie daarvan; soms wordt ook het set-point principe in de beoordeling betrokken.

Bij *vergelijking* met de uitkomsten van het *longitudinale onderzoek* blijkt dat deze parallel lopen met de uitkomsten van opdracht B3: de term superorganisme wordt op M2 als M3 verhoudingsgewijs vaker genoemd dan andere voorbeelden van een levend systeem.

6.6.4 Discussie, conclusies en beantwoording van de onderzoeksvragen

Uit de vergelijking van de uitkomsten van het longitudinale onderzoek en het onderzoek van proefwerkresultaten is naar voren gekomen dat in een aantal gevallen sterkere parallelen worden aangetroffen tussen de uitkomsten van het onderzoek van proefwerkresultaten en die van post-test 2 (op M3) dan tussen de uitkomsten van het dit onderzoek en die van post-test 1 (op M2). Dit werd niet verwacht aangezien het proefwerk en de post-test 1 vrijwel gelijktijdig werden afgenomen en post-test 2 pas ca. 2 maanden later. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat er op M3 sprake is van een consolidatie van leereffecten als gevolg van (de voorbereiding) op het proefwerk. Dit zou ook de doorstijgingseffecten kunnen verklaren die bij het merendeel van de leerlingen zijn geconstateerd en waarover werd gerapporteerd in § 6.5.2.4.

Uit de uitkomsten van het onderzoek van proefwerkresultaten kan een aantal samenvattende conclusies worden getrokken met betrekking tot de expert knowledge waarvan leerlingen blijk gaven in het proefwerk. Hiertoe zijn voor de vier onderzochte vakinhoudelijke thema's -zie § 6.2- die in de proefwerkvragen aan de orde kwamen de gemiddelde percentages leerlingen berekend die scoorden in de categorie expert knowledge. Uitgangsmateriaal hiervoor vormden de cijfermatige gegevens uit de tabellen in § 6.6.3 [A].

Thema 1 (OZ 1) betrof de kennis van het systeem/systeemomgevings- concept in relatie tot het overleven van het organisme. In het proefwerk scoorde (op 4 kennisaspecten in 3 proefwerkvragen) gemiddeld 47 % van de leerlingen in de expert knowledge-categorie.

Thema 2 (OZ 2) had betrekking op kennis van kenmerken en functies van levende systemen. In het proefwerk had 1 vraag betrekking op dit aspect; hier scoorde gemiddeld 54 % van de leerlingen in de expert knowledge categorie.

Thema 3 (OZ 3) betrof de kennis van voorbeelden en principes van regulatie. Hieraan is in het proefwerk verreweg de meeste aandacht besteed: in 4 vragen kwamen 16 kennisaspecten van dit thema aan de orde. Gemiddeld scoorde hier 48 % van de leerlingen in de expert knowledge categorie.

Thema 4 (OZ 4) had betrekking op kennis van temperatuurregulatie en koorts bij de mens. Dit thema kwam in 1 proefwerkvraag aan de orde; gemiddeld scoorde hier 54 % van de leerlingen in de categorie expert knowledge.

Samenvattend: de bovenstaande percentages geven aan dat in de beantwoording van de proefwerkvragen bij ongeveer de helft van de leerlingen kennis op het niveau van expert knowledge werd aangetroffen.

In vergelijking met de uitkomsten van het longitudinale onderzoek kan worden geconcludeerd dat de uitkomsten van het onderzoek van proefwerkresultaten de antwoorden bevestigen die in § 6.4.2.1 werden gegeven op de onderzoeksvragen van het longitudinale onderzoek: uit de proefwerkresultaten komen overeenkomstige trends naar voren voor wat betreft de percentages leerlingen die op een adequate

wijze gebruik maken centrale vakinhoudelijke begrippen en concepten uit het onderwijsontwerp.

Tenslotte leidt vergelijking van de uitkomsten van de proefwerkvragen 5, 6 en 7 tot een aanvullende conclusie betreffende (vakinhoudelijke) leereffecten. Bij elk van de drie genoemde vragen wordt door de meerderheid van de leerlingen (resp. 55%, 62% en 61%) gescoord in de categorie expert knowledge met betrekking tot kennis van het begrip homeostase. Op grond van deze scores kan worden geconcludeerd dat meer dan de helft van de leerlingen na het werken met het onderwijsontwerp beschikt over adequate kennis van het begrip homeostase.

6.7 Terugblik: kanttekeningen bij onderzoeksmethoden en -resultaten

Bij een terugblik op het onderzoek dat in dit hoofdstuk werd gerapporteerd, wil ik gebruik maken van de criteria die door Maso en Smaling [6] worden aanbevolen om te beoordelen in hoeverre een (kwalitatief) onderzoek heeft bijgedragen aan -wat zij noemen- 'een streven naar waarheid'.

Het *eerste criterium* luidt -kort samengevat- of de *betrouwbaarheid van de waarnemingen* hoog genoeg is, zowel wat betreft het (meet)instrument, de onderzoeker als de omstandigheden. In dit verband zijn de volgende gegevens relevant [B]. In het verlengde van de keuze om het onderzoek te verrichten flankerend aan een realistische onderwijssituatie werd een werkwijze gekozen die aansloot op een basisroutine van leerlingen in de bovenbouw van het VWO, nl. de vaardigheid om vragen en opdrachten schriftelijk uit te werken. Als methode om gegevens te verzamelen werd een gestandaardiseerd instrument gebruikt waarmee tijdens of direct na een onderwijssituatie schriftelijke gegevens werden verzameld in de vorm van leerlingdocumenten.

Met het oog op het ontwikkelen van een dekkend meetinstrument bij de bewerking van de bron-gegevens is consequent uitgegaan van deze letterlijke leerlingenteksten, en werden bij het ontwikkelen en toepassen van een categorieënsysteem maatregelen genomen om de betrouwbaarheid van de interpretatie van uitspraken van leerlingen te waarborgen. Zo waren meerdere onderzoekers betrokken bij het ontwikkelen van de categorieënsystemen en het toepassen ervan, werden vak-experts geconsulteerd om de (mate van) expert knowledge te definiëren, werden alle leerlingantwoorden door twee onderzoekers onafhankelijk van elkaar geïnterpreteerd en gecategoriseerd en werd vervolgens aan de hand hiervan de mate van interbeoordelaarsovereenstemming bepaald. Hierover is gerapporteerd in § 6.5.2.2 (voor het longitudinale onderzoek) en in § 6.6.2 (voor het momentopname-onderzoek). De interbeoordelaars-overeenstemming bleek voldoende hoog om te kunnen spreken van betrouwbare uitkomsten.

In verband met de omstandigheden waaronder de gegevens zijn verzameld is het gegeven van belang dat dit op drie achtereenvolgende momenten plaatsvond en dat als gevolg hiervan het gebruikte meetinstrument als een volgende onafhankelijke variabele de uitkomsten kan hebben beïnvloed.

De meting zelf was een -inhoudelijke- interventie waarbij de leerlingen bij herhaling, dat wil zeggen op M1, M2 en M3, aan het denken werden gezet over inhoudelijke aspecten. Aangenomen mag worden dat ook hiervan invloed is uitgegaan op de (individuele) kennisontwikkeling. Dit betekent dat er dus op de meetmomenten M2 en M3 geen sprake was van een herhaalde waarneming onder dezelfde condities. Mogelijk is het in § 6.4.2.1 beschreven zogenaamde doorstijgingseffect dus mede veroorzaakt door de invloed van het meetinstrument.

Door ondermeer Swanborn [7] is er op gewezen dat het in dergelijke onderzoekssituaties niet mogelijk is om de betrouwbaarheid vast te stellen omdat de meting zelf de uitkomst ervan beïnvloedt.

Het doel van de nameting M3 -die ca. twee maanden na afloop van de onderwijsinterventie werd uitgevoerd- was om de mate van stabiliteit van de eerder geregistreerde leereffecten vast te stellen en om vervolgens deze stabiliteit te hanteren als een criterium bij de beoordeling van de effectiviteit van het onderwijs op langere termijn. Om de betrouwbaarheid van deze nameting cq. de hierop gebaseerde uitspraken te vergroten, werd gebruik gemaakt van een additionele set van gegevens in de vorm van de proefwerkgegevens van de drie scholen. De uitkomsten hiervan werden vergeleken met die van het longitudinale onderzoek, waardoor kon worden vastgesteld in hoeverre deze overeenkwamen. Deze aanpak kan worden beschouwd als een vorm van methodentriangulatie om de betrouwbaarheid van de waarnemingen te vergroten.

Het feit dat de uitkomsten van beide onderzoeken op veel punten parallel lopen en in ieder geval niet met elkaar in tegenspraak zijn, wijst erop dat de uitkomsten van het longitudinale onderzoek slechts in beperkte mate aan (de invloed van) het daarbij gebruikte meetinstrument kunnen worden toegeschreven, en bevestigen dat de uitkomsten van het longitudinale onderzoek betrouwbaar zijn.

Bij het *tweede criterium* gaat het er om of gemeten is wat men wilde meten. Deze vraag naar de *begripsvaliditeit* is in dit onderzoek als volgt aan de orde. Het doel van het onderzoek was om vast te stellen in hoeverre er -ten aanzien van een viertal biologisch-inhoudelijke thema's- sprake was van kennisontwikkeling. Uitgangsmateriaal hiervoor vormden, zowel bij het longitudinale als bij het momentopnameonderzoek, de schriftelijke leerling-documenten. De vraag is nu of op deze *schriftelijke* data uitspraken over *kennisontwikkeling* gebaseerd kunnen worden. Wij zijn van mening dat de mogelijkheden hiertoe in dit onderzoek zijn geïllustreerd, maar dat tevens de vraag gesteld moet worden of eventueel andere, aanvullende methoden van gegevensverzameling tot een beter onderzoeksresultaat hadden kunnen leiden.

Er zijn zeker argumenten om langs andere dan de hier gekozen schriftelijke weg (aanvullende) gegevens over de bij leerlingen aanwezige kennis en inzichten te verzamelen. Zo was het met behulp van aanvullende mondelinge gesprekken met leerlingen mogelijk geweest om meer informatie over denkbeelden en redeneringen van leerlingen aangaande regulatie en homeostase te verzamelen. Hiervan werd afgezien omdat het -in het verlengde van de onderzoeksvraagstelling- niet primair ging om het analyseren van de ontwikkeling van denkbeelden en denkwijzen bij individuele leerlingen, maar om het registreren van uitingen van kennis in meerdere onderzoeksgroepen. Het ontwikkelde dataverzamelingsinstrument werd gezien als een passend middel daartoe, mede op grond van de ervaringen die met een soortgelijk instrument waren opgedaan in de pilotstudie waarover werd gerapporteerd in § 4.3. Een aanvullende werkwijze als het houden van gesprekken en interviews zou voorts hebben betekend dat een (volgende) variabele tussen leerlingen zou zijn ingevoerd en dat daarmee de kennisontwikkeling mogelijk meer verschillend zou zijn beïnvloed, dan door de hier gebruikte gestandaardiseerde methode.

Om hierover duidelijkheid te krijgen zou in een eventueel vervolgonderzoek mede verkend moeten worden of -naast de in dit onderzoek gehanteerde methode- door het gebruik van andere, aanvullende dataverzamelingsmethoden complementaire informatie over de kennisontwikkeling wordt verkregen.

Een andere vraag in verband met dit criterium betreft de zgn. afnamecondities waaronder de schriftelijke gegevens zijn verkregen (Lowyck & Verloop [8]). Hierbij gaat het er om of de leerlingen voldoende gelegenheid hebben gehad om optimale en volledige gegevens te leveren. Met betrekking tot de in dit onderzoek gevolgde werkwijze kan daarover het volgende worden gezegd. Tijdens het longitudinale onderzoek werden de leerlingen op de momenten waarop de schriftelijke gegevens werden verzameld nauwkeurig geïnformeerd over wat er van hen werd verwacht. Met name werd daarbij benadrukt dat het om een selectievrije situatie ging en werden de leerlingen telkens uitgenodigd om zo precies en uitvoerig mogelijk in eigen woorden inzichten en verklaringen op te schrijven.

Ook in dit kader past de vraag of de kwaliteit van het meetinstrument, en met name de redactie van de opdrachten en vragen, van invloed is geweest op de respons van de leerlingen. Uit de steekproef die werd gerapporteerd in § 6.5.2.1. bleek duidelijk dat de omvang van de respons per vraag geen grote verschillen te zien gaf (Afb.6.5). Ook tijdens het werken aan de vragen en opdrachten is niet gebleken dat de redactie of opzet ervan problemen opleverde, en evenmin bleek dat leerlingen daarbij in tijdnood kwamen. Een andere indicatie hiervoor is de uit observatie gebleken serieuze wijze waarop leerlingen dit werk uitvoerden, en het geringe aantal niet-plaatsbare of duidelijk niet-serieuze reacties.

Bij het *derde criterium* is aan de orde of bepaalde oorzakelijke conclusies staande zijn te houden. Bij deze vraag naar *interne validiteit* gaat het er om in hoeverre een oorzakelijk verband gelegd kan worden tussen bepaalde resultaten en bepaalde

variabelen. Gezien de gekozen onderzoeksvraagstelling gaat het er in dit onderzoek om in hoeverre de geconstateerde leereffecten kunnen worden toegeschreven aan het leerlingenmateriaal. Een belangrijke factor daarbij vormde de onderzoekscontext waarin het longitudinale onderzoek werd uitgevoerd: gewone onderwijs-praktijksituaties in de bovenbouw van het VWO. Voor het onderzoek betekende dit een complicatie aangezien er in deze situaties sprake is van meerdere onafhankelijke variabelen, te weten de individuele leerling(kenmerken), de schoolcontext, het leerkrachtgedrag, de groeperingsvorm(en), en het onderwijsmateriaal. Dit bemoeilijkt de beantwoording van vragen naar het mogelijke aandeel van elk van deze factoren bij het bereiken van (leer)effecten. Aangezien in dit onderzoek geen controlegroepen waren inschakeld die ander onderwijsmateriaal gebruikten, kunnen sluitende antwoorden op vragen naar de precieze invloed cq. effectiviteit van het gebruikte onderwijsmateriaal niet worden gegeven.

Een spreiding in onderwijsresultaten in de beschreven experimenten kan hoogstwaarschijnlijk voor een deel aan de twee eerstgenoemde variabelen (leerlingkenmerken en schoolcontext) worden toegeschreven. Ten aanzien van de drie andere variabelen stelt Creemers [9] dat van de effectiviteit van het onderwijsmateriaal (methode) 'op zich' weinig verwacht mag worden. Deze effectiviteit komt voornamelijk tot stand in interactie met het leerkrachthandelen (in de vorm van 'gelegenheid bieden om te leren') en wordt mede bepaald door de intensiteit van het gebruik van het materiaal (de plaats en aandacht die het materiaal krijgt binnen de onderwijssituatie), en daarnaast door de groeperingsvormen (bijvoorbeeld het continuüm van klassikaal tot individueel werken). De invloed van het materiaal wordt -aldus Creemers- bepaald door de wijze waarop het in de onderwijs-/leersituatie is ingezet.

In dit onderzoek lag het accent bij de inzet van de (personele) middelen op het ontwikkelen van lesmateriaal en op de registratie en analyse van (leer)effecten die optraden bij leerlingen die met het materiaal werkten; het leerkrachthandelen was daarbij geen voorwerp van systematisch en nauwkeurig onderzoek. Als gevolg hiervan kan niet worden vastgesteld in hoeverre het leerkrachtgedrag als een onafhankelijke variabele de effectiviteit van het onderwijsmateriaal heeft beïnvloed. Indien dit gedrag (duidelijk) verschillend is geweest in de drie scholen, met name ten aanzien van het gebruik van het lesmateriaal, dan moet een deel van de verschillen in resultaten ook aan verschillen in leerkrachtgedrag in de drie scholen worden toegeschreven. Met betrekking tot dit punt verwijs ik naar § 5.3. Hierin is o.m. beschreven dat met het oog op de gewenste uniformiteit in leerkrachtgedrag voorafgaand aan de lessenreeks afspraken met de drie docenten werden gemaakt voor wat betreft hun rolneming. Achteraf bestaat -op grond van incidentele waarnemingen en berichten- de indruk dat de drie docenten in grote lijnen op dezelfde wijze met het materiaal hebben gewerkt cq. laten werken. Daarnaast moet echter worden aangenomen dat de specifieke 'biologische' denk- en werkcultuur die de docent met zijn groep -los van dit experiment- had ontwikkeld, ook van invloed is geweest op de leereffecten. Een deel van de schoolspecifieke effecten die in § 6.5 zijn gerapporteerd moet mogelijk hieraan worden toegeschreven. Als voorbeeld noem ik

de bovengemiddelde resultaten in S2, die kunnen samenhangen met het specifieke docentgedrag dat in § 6.3 werd vermeld.

Tenslotte moet nog worden opgemerkt dat -gezien de selectieve keuze van de onderzoeksgroepen- onbekende leerling- en groepsvariabelen ook de verschillen in leerresultaten tussen de groepen hebben beïnvloed. Een gefundeerd antwoord op de vraag in hoeverre de uitvoering van het curriculum in de drie scholen vergelijkbaar was en de geconstateerde leereffecten derhalve aan het leerlingenmateriaal kunnen worden toegeschreven, kan gezien het voorgaande echter niet worden gegeven.

Het *vierde criterium* heeft betrekking op de vraag of er vanuit de onderzochte werkelijkheid ook conclusies over andere delen van de werkelijkheid getrokken kunnen worden. De mate waarin deze conclusies generaliseerbaar zijn wordt aangeduid als de *externe validiteit* van de resultaten.

In dit verband is van belang dat de onderwijsinterventie en het effectenonderzoek zijn uitgevoerd in een context waarvoor het onderwijsontwerp was bedoeld: gewone, levensechte onderwijs-praktijksituaties. Deze keuze betekende echter ook dat gezien de beschikbare tijd, onderzoeksmiddelen en -mogelijkheden niet meer dan drie (deel)populaties in het onderzoek betrokken konden worden. Dit brengt de vraag met zich mee in hoeverre de deelnemende scholen cq. klassen als representatief kunnen gelden voor een (veel) grotere groep van scholen. De deelnemers aan deze steekproef zijn bij dit onderzoek langs selectieve weg betrokken geraakt. Twee van de docenten participeerden in het materiaalontwikkelingsproject, terwijl de derde interesse en behoefte had om met nieuw onderwijsmateriaal te werken. Het ging dus om docenten die geïnteresseerd waren in de thematiek, en die bereid en gemotiveerd waren om hieraan op een 'nieuwe' wijze met hun leerlingen te werken. Deze positieve instelling ten opzichte van het onderwijs- en onderzoeksexperiment kan het bereiken van de resultaten hebben beïnvloed, en is mogelijk een belangrijke voorwaarde om in andere situaties dezelfde effecten en resultaten te bereiken. Voorts is nog van belang dat de leereffecten werden bereikt in drie onderzoeksgroepen die bestonden uit doorsnee-klassen op 5 VWO-niveau, afkomstig van 'gemiddelde' en brede scholengemeenschappen voor HAVO/VWO. Gezien dit laatste is er geen reden om aan te nemen dat onder vergelijkbare onderwijsomstandigheden het werken met het onderwijsmateriaal niet tot dezelfde uitkomsten zou leiden.

Noten

- [A] De gemiddelden zijn gebaseerd op de volgende samenstellende volgende percentages, ontleend aan de tabellen in Afb.6.19 - 6.26:
OZ 1: 41,59,53,36;
OZ 2: 58;
OZ 3: 65,71,24,13,24,56,36,38,31,32,55,81,78,62,33,61;
OZ 4: 54.
- [B] Een deel van deze gegevens is evenzeer relevant in het kader van de validiteitsvragen die door Maso en Smaling [6] aan de orde worden gesteld in de andere criteria en waarop in het vervolg deze paragraaf wordt ingegaan.

Referenties

- [1] Silvermann, D.(1993) *Interpreting Qualitative Data*. Sage Publ., London.
- [2] McKenna, H.J.& M.Hand (1985) *A Guidebook for Teaching Biology*. Allan & Bacon, Newton, MA.
- [3] Johnstone, A.H. & N.A.Mahmoud (1980) *Isolating topics of high perceived difficulty in school biology*. Journ.of Biol.Educ. 14(2), 163-166.
- [4] Popping, R. (1988) *On agreement indices for nominal data*. In: W.E.Saris & I.N.Gallhofer (Eds.). *Sociometric Research, Vol.1*. MacMillan, Basingstoke.
- [5] Admiraal, W. (1994) *Reacties van docenten op aandachtseisende situaties in de klas*. Dissertatie. W.C.C., Utrecht.
- [6] Maso, I. & A.Smaling (1990) *Objectiviteit in kwalitatief onderzoek*. Boom, Meppel.
- [7] Swanborn, P.G.(1987) *Methoden van sociaal-wetenschappelijk onderzoek*. Boom, Meppel.
- [8] Creemers, B.P.M.(1991) *Effectieve instructie; een empirische bijdrage aan de verbetering van het onderwijs in de klas*. Instituut voor Onderzoek van het Onderwijs (SVO), 's-Gravenhage.
- [9] Lowyck, J. & N.Verloop (Red.) (1995) *Onderwijskunde. Een kennisbasis voor professionals*. Wolters-Noordhoff, Groningen.

7 SAMENVATTING EN BALANS: terugblik en perspectief

7.1 Inleiding

Met vakdidactisch onderzoek en ontwikkelingswerk wordt beoogd de vernieuwing van het biologieonderwijs te ondersteunen, zo heb ik in het eerste hoofdstuk van dit proefschrift betoogd. In dit laatste hoofdstuk wordt de balans opgemaakt: eerst worden de opzet van deze studie en de verschillende onderdelen ervan besproken en vervolgens worden aan het einde van dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan met het oog op het (biologie)onderwijs en (vervolg)onderzoek. In verband met dit laatste moet de kanttekening gemaakt worden dat met het oog op de verdere ontwikkeling van het schoolvak een vroegtijdiger publicatie van dit proefschrift wenselijk was geweest. Indien -naast het ontwikkelde leerlingenmateriaal- ook de onderzoeksgegevens bekend waren geweest rond het tijdstip van invoering van het nieuwe examenprogramma, dan hadden deze van af dat moment mee kunnen spelen bij de verdere concretisering van dit onderdeel van het programma.

Vertrekpunt voor deze studie was -zoals in hoofdstuk 1 werd uiteengezet- het gegeven dat het thema regulatie en homeostase in de vakwetenschap als een biologisch kernthema naar voren komt en dat -in contrast daarmee- een grondige cq. fundamentele benadering en uitwerking van dit thema ten behoeve van het voortgezet onderwijs ontbreekt. In verband met de aan het einde van de tachtiger jaren beoogde herziening van het examenprogramma voor biologie was dit de aanleiding om dit thema op de vernieuwingsagenda te plaatsen (H.1).

In de opzet van deze studie is het traject zichtbaar dat daarbij is gevolgd, en dat -globaal- in drie fasen kan worden verdeeld. In de *eerste fase* werden de uitgangspunten voor het beoogde biologieonderwijs over het thema regulatie en homeostase gekozen (H.2) en zijn nadere verkenningen uitgevoerd, gericht op het verzamelen van bouwstenen voor het concretiseren van dit onderwijs (H.3 & 4). In de *tweede fase* vond deze concretisering plaats: in samenwerking met biologiedocenten werd het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' ontwikkeld in de vorm van leerlingenmateriaal en docentenhandleiding (H.5).

Bij het nemen van beslissingen over dit ontwerp speelden -naast de geformuleerde uitgangspunten en de verkregen onderzoeksgegevens- de praktijkkennis en -ervaringen van de biologiedocenten en hun wensen aangaande de inhoud en de vormgeving van het materiaal een belangrijke rol. In de *derde fase* werd onderzoek gedaan naar de gebruiks- en leereffecten van het werken met dit ontwerp in de klaspraktijk (H.6). Het hiervoor beschreven cq. gevolgde traject kan worden getypeerd als een ontwikkelingsweg waarbij pas aan het einde van elke fase een duidelijke doelstelling voor de volgende fase ontstond. In dit traject was er met name in fase 2, de ontwerpfase, sprake van een vervolg dat niet rechtstreeks voortkwam uit of aansloot op fase 1, aangezien bij het ontwerpen van het materiaal ook rekening gehouden diende te worden met randvoorwaarden en wensen uit de onderwijspraktijk.

7.2 Uitvoering en opbrengst

Hierna wordt eerst fase 1 besproken: ingegaan wordt op de opbrengst van de oriëntatie op en de keuze van uitgangspunten en van de in vervolg daarop uitgevoerde nadere verkenningen. Vervolgens komt aan de orde op welke wijze van de resultaten van fase 1 gebruik is gemaakt in fase 2: de ontwerpfase. Het gaat daarbij om de relevantie van de in fase 1 verzamelde gegevens voor het maken van een onderwijsontwerp. Dan wordt fase 3 besproken: ingegaan wordt op de uitkomsten van de beproeving van dit ontwerp in de klas.

Tenslotte wordt samengevat welke aanwijzingen hieruit voortkomen voor het (verder) ontwikkelen en uitvoeren van biologieonderwijs met name over het thema regulatie en homeostase, en voor biologie-didactisch vervolgonderzoek.

7.2.1 Fase 1 - Oriëntatie en verkenning

Oriëntatie op uitgangspunten

In de eerste fase van deze studie is gekozen voor een *brede* oriëntatie: als kader voor een gerichte bezinning werd uitgegaan van een drietal invalshoeken van waaruit de uitgangspunten voor het beoogde onderwijs werden geformuleerd. Gezien het brede karakter van de oriëntatie op de uitgangspunten voor de vernieuwing, wil ik achteraf ingaan op de opbrengst en het belang ervan.

Bij de verkenning vanuit de *vakwetenschappelijke invalshoek* was een belangrijk vertrekpunt dat in het biologieonderwijs de eigen aard en inhoud van de vakdiscipline zo goed mogelijk tot zijn recht moet komen. Dit leidde ertoe dat -na een verkenning van de actuele en aanvaarde 'state of the discipline'- de organicistische visie op leven als overkoepelend raamwerk voor de vernieuwing van de vakinhoud werd gekozen. Deze visie met bijbehorende denkwijzen uit de vakdiscipline was -voorzover kon worden nagegaan- niet eerder aangeduid en gebruikt als een overkoepelend raamwerk om inhoud en vorm te geven aan biologieonderwijs op secundair niveau.

Het belang hiervan was dat op basis van dit raamwerk de vakinhoud van het gekozen thema gestructureerd en verder uitgewerkt kon worden.

Tevens betekende dit dat nader onderzoek moest worden verricht: verkend moest worden op welke wijze het thema i.c. de principes en voorbeelden van regulatie en homeostase gezien de gekozen visie aan de orde gesteld moesten worden. Over dit onderzoek is gerapporteerd in hoofdstuk 3.

Bij de verkenning vanuit de *onderwijswetenschappelijke invalshoek* werd -op grond van een inventarisatie van verschillende constructivistische benaderingen van leren en onderwijzen- geconcludeerd dat de verschillende stromingen een aantal overeenkomstige aanwijzingen bevatten voor het organiseren en het inrichten van het onderwijs en de onderwijsleeromgeving. Deze werden samengebracht in een nieuw overkoepelend verband: uitgangspunten voor -wat werd aangeduid als- een constructivistische didactische praktijk. In aansluiting hierop werd aan enkele van deze uitgangspunten een op het biologieonderwijs gerichte uitwerking gegeven en werden aanwijzingen geformuleerd aangaande het gebruik van voorkennis en contexten in het biologieonderwijs en aangaande kennisontwikkeling in het biologieonderwijs. Tevens werd geconstateerd dat met het oog op het concretiseren van de uitgangspunten onderzoek verricht moest worden naar de voorkennis van leerlingen met betrekking tot regulatie en homeostase. Op grond hiervan zijn de drie deelonderzoeken uitgevoerd waarover in hoofdstuk 4 is gerapporteerd.

Voorts werd -op grond van overwegingen van innovatieve aard- vastgesteld dat in de fase van concretisering van vernieuwing de samenwerking met docenten onmisbaar zou zijn om te komen tot in het onderwijs bruikbare cq. 'acceptabele' producten.

Op grond van de verkenning vanuit de *maatschappelijke invalshoek* werd geconcludeerd dat het examenprogramma -dat aanvankelijk was getypeerd als een gegeven uitgangspunt- (te) weinig aanknopingspunten bood om richting te geven aan nieuw onderwijs over het thema regulatie en homeostase [1]. In het licht van de keuze van de organicistische visie als overkoepelend raamwerk voor de vernieuwing werd besloten om bij het verdere ontwikkelingswerk een spiegelfunctie toe te kennen aan het examenprogramma: het te ontwerpen product zou in ieder geval moeten aansluiten op de algemene doelstellingen en op de globale leerstofomschrijving, zoals die in het programma zijn vermeld. Dit betekende echter ook dat het examenprogramma geen limitatieve functie zou vervullen aangezien hierin slechts de minimumeisen zijn omschreven waaraan een leerling moet voldoen. Als gevolg hiervan was een nadere oriëntatie op de specifieke vakinhoud van het thema noodzakelijk, gericht op het verzamelen van vakinhoudelijke gegevens en voorbeelden met het oog op gebruik in het voortgezet onderwijs.

Samenvattend kan dus worden vastgesteld dat de brede oriëntatie uitmondde in de keuze van de organicistische visie als raamwerk voor de vakinhoudelijke vernieuwing, in de aanwijzingen voor een constructivistische didactische praktijk en in de

plaatsbepaling ten opzichte van het examenprogramma. In het verlengde hiervan werden de uitgangspunten voor vernieuwing van het biologieonderwijs gekozen die moesten dienen als basis voor het verder ontwikkelen cq. concretiseren van dit onderwijs. Enkele van deze uitgangspunten werden nog niet eerder gehanteerd in verband met het biologieonderwijs. Tevens werd vastgesteld dat in het vervolg op deze keuze op een aantal punten vervolgonderzoek noodzakelijk was.

Nadere verkenningen

Met de onderzoeken die in deze fase zijn uitgevoerd, werd beoogd om gegevens te verzamelen voor het maken en concretiseren van een onderwijsontwerp over de thematiek van regulatie en homeostase en werd gezocht naar bouwstenen voor het te vervaardigen onderwijsmateriaal.

Bij het onderzoek dat in hoofdstuk 3 is gerapporteerd, ging het om de (vak)inhoudelijke component van het onderwijs. Daarbij werd via een inventarisatie van vakwetenschappelijke bronnen zichtbaar dat het begrip homeostase in de vakwetenschap in meerdere betekenissen wordt gebruikt en dat met het oog op het gebruik in school helderheid cq. een duidelijke plaatsbepaling noodzakelijk was. Dit resulteerde in een omschrijving en definiëring van begrippen als homeostase en regulatie ten behoeve van het voortgezet onderwijs. Daarnaast leverde deze inventarisatie ook veel andere vakinhoudelijke gegevens op die bij de concretisering en verdere invulling van het thema gebruikt konden worden. Ook werden binnen- en buitenlandse biologie-leergangen en vakdidactische literatuur geïnventariseerd op bruikbare aanwijzingen voor onderwijs over het thema. Met name in vakdidactische bronnen werden over het gebruik van regulatiemodellen gegevens gevonden, waarvan bij de concretisering van het ontwerp gebruik kon worden gemaakt.

In de onderzoeken die in hoofdstuk 4 zijn gerapporteerd, staat de constructivistische didactische praktijk centraal: er is geëxperimenteerd met mogelijkheden om onderwijsleerprocessen te organiseren op basis van individuele voorkennis aangaande regulatie en homeostase, en om een sociale leeractiviteit te initiëren.

Als ingang voor de voorafgaande literatuuroriëntatie is primair gekozen voor de vakinhoudelijke thematische ingang: gezocht is naar onderzoek(svoorbeelden) waarin voorkennis bij leerlingen aangaande de thematiek van regulatie en homeostase werd onderzocht. Bij het zoeken naar methoden om leerlingdenkbeelden op te sporen en tot ontwikkeling te brengen is -als gevolg van de gekozen ingang- van slechts enkele bronnen en voorbeelden uitgegaan. Achteraf kan worden geconstateerd dat via de in de pilotstudie gehanteerde methode veel aanwijzingen en gegevens zijn verkregen over de voorkennis en denkbeelden van leerlingen. Van de empirische verkenningen zijn met name de resultaten van de inventarisatie van de voorkennis over de regulatie van de lichaamstemperatuur bij de mens gebruikt bij de concretisering van het thema.

7.2.2 Fase 2 - Ontwerp

In de *tweede fase* van deze studie ging het om het concretiseren van het thema regulatie en homeostase in de richting van de schoolpraktijk: de activiteiten in deze fase waren gericht op het uitwerken en invullen van het curriculum. Dit resulteerde in het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven', dat als bijlage 5-1 is opgenomen in dit proefschrift.

De wijze waarop dit ontwerp tot stand is gekomen, werd in hoofdstuk 5 geschetst. Een belangrijk aspect hiervan was de directe deelname van de docenten aan het ontwikkelwerk: hun praktijkkennis en -ervaringen waren van veel belang voor het ontwikkelen van materiaal dat bruikbaar is in de onderwijspraktijk.

In verband hiermee kan worden vermeld dat -na verschijning van het ontwerp als PBB-publicatie [2]- bij docenten in het veld een sterke interesse bleek voor het ontwikkelde product: in korte tijd werden circa 200 exemplaren van het ontwerp door docenten en scholen afgenomen [3]. In hoeverre het leerlingenmateriaal in de oorspronkelijke vorm ook daadwerkelijk in de klas wordt gebruikt is niet bekend. De deelname van de docenten aan het ontwikkelwerk betekende tevens een sterkere oriëntatie op de directe onderwijspraktijk dan in de eerste fase van deze studie. In deze eerste fase was er sprake van meer theoriegeoriënteerde (onderzoeks)activiteiten, op basis waarvan de uitgangspunten voor het beoogde onderwijs werden geformuleerd. In de ontwerpfase werd door de ontwikkelgroep gewerkt in het spanningsveld tussen theoriegeoriënteerde en praktijkgeoriënteerde beslissingen: enerzijds werd uitgegaan van de uitgangspunten en onderzoeksgegevens die zijn beschreven in de hoofdstukken 2, 3 en 4, anderzijds werd ook -zoals in hoofdstuk 5 werd aangegeven- in belangrijke mate rekening gehouden met de overige randvoorwaarden en de inbreng van de docenten. Daarmee is de vraag aan de orde naar de relevantie van de uitgangspunten en onderzoeksgegevens die in de hoofdstukken 2, 3 en 4 van dit proefschrift werden gepresenteerd. In hoeverre is hiervan gebruik gemaakt bij het concretiseren van het ontwerp ?

Voor wat betreft de vakinhoudelijke component van het ontwerp geldt dat de uitgangspunten die op grond van de vakwetenschappelijke invalshoek werden gekozen, in het ontwerp zijn geoperationaliseerd. Ditzelfde geldt ook voor de onderzoeksgegevens over het gebruik en de betekenis van de begrippen regulatie en homeostase. Zo worden in de structurering van het ontwerp de drie belangrijke biologische organisatieniveaus weerspiegeld, is op elk van deze niveaus de systeembenadering consequent toegepast en is de uitwerking van de principes en voorbeelden van regulatie en homeostase gebaseerd op de resultaten van het verrichte (literatuur)onderzoek.

In mindere mate zijn in het ontwerp de uitgangspunten gerealiseerd die op grond van de onderwijswetenschappelijke invalshoek zijn gekozen. In het ontwerp zijn slechts twee van de geformuleerde uitgangspunten voor een constructivistische didactische praktijk uitgewerkt: op een aantal plaatsen in het ontwerp wordt de voorkennis van de individuele leerling als startpunt voor leeractiviteiten genomen en wordt 'expert

practice' beoefend door in het ontwerp denk- en werkwijzen, hulpmiddelen en modellen uit de vakwetenschap te introduceren.

De uitwerking van het gebruik van voorkennis is -zowel qua inhoud als qua vorm- in belangrijke mate gebaseerd op de resultaten van de pilotstudie die in hoofdstuk 4 is gerapporteerd.

Gezien de beoogde ruime inzetbaarheid van het ontwerp werd besloten om de uitgangspunten die betrekking hebben op de sociale dimensies van het leerproces en op beoogde sociale activiteiten van docent en leerlingen niet in het ontwerp uit te werken. Dit betekent dat geen gebruik is gemaakt van de uitkomsten van de pilotstudie die in § 4.4 is gerapporteerd. Daarmee blijven deze uitgangspunten voor een constructivistische didactische praktijk opties, en moet worden vastgesteld dat ten aanzien van deze dimensies in de hoofdstukken 2 en 4 verwachtingen zijn gewekt die in het ontwerp niet zijn waargemaakt.

Samenvattend kan worden vastgesteld dat de inhoud van het ontwerp in belangrijke mate is gebaseerd op de vooraf geformuleerde uitgangspunten en de verkregen onderzoeksgegevens. Daarnaast speelden bij de ontwerpbeslissingen overwegingen van onderwijs-praktische aard een belangrijke rol.

Achteraf gezien heeft de keuze van de organicistische visie het sterkste stempel gedrukt op het ontwerp: de inhoud en de vorm van het ontwerp zijn een weerspiegeling van de vakstructurele elementen waarmee in de vakdiscipline leven en levensverschijnselen worden getypeerd. Daarbij werd het ontwerp zodanig opgezet dat verbindingen konden ontstaan tussen de voorkennis van leerlingen en de vakinhoudelijke informatie. Dit houdt in dat in het ontwerp een middenweg is gekozen tussen de door Treffers [4] beschreven structuralistische en realistische benadering van het onderwijs. In het onderwijsmateriaal is enerzijds uitgegaan van en verder gewerkt met ervaringskennis van de leerlingen; anderzijds zijn er typisch structuralistische elementen in verwerkt omdat die de mogelijkheden bieden om te leren kijken door de bril van de bioloog.

Met het combineren van beide benaderingen is getracht om de individuele (voor)kennis en ervaringen (dwz. realistische elementen) enerzijds en de biologische inhouden, kijk- en denkwijzen (dwz. structuralistische elementen) anderzijds met elkaar in verbinding te brengen. In dit verband kan ook worden verwezen naar Lijnse [5] die zich afvraagt of men het specifieke karakter van de natuurwetenschappelijke benaderingswijze geen geweld aandoet als men de leef- en denkwereld van het kind tot radicaal startpunt van onderwijs neemt. Hiermee plaatst Lijnse vraagtekens bij een (te) eenzijdige realistische benaderingswijze.

Het gebruik van structuralistische elementen kan ook een oplossing bieden voor het door Kapteijn [6] gesignaleerde probleem dat leerlingen veel moeite hebben met het leggen van verbindingen tussen de verschillende organisatieniveaus. Dit zou -aldus Kapteijn- mede in de hand worden gewerkt doordat veel begrippen gescheiden per organisatieniveau aan de orde worden gesteld. Met een structuralistische benadering d.m.v. de biologische organisatieniveaus kan een integratie van kennis worden

bevorderd. Daarvoor is nodig dat deze benadering niet slechts wordt gehanteerd om het onderscheid aan te geven tussen de verschijningsvormen van leven, maar vooral om als een verbindend raamwerk te werken door het unificerende karakter van deze benadering in het onderwijs te laten doorwerken en uit te buiten.

7.2.3 Fase 3 - Beproeving van het ontwerp

Effecten

In de *derde fase* is onderzoek gedaan naar de *gebruiks- en leereffecten* van het werken met het onderwijsontwerp 'Geregeld Overleven' in de klaspraktijk. Dit onderzoek is verricht als een flankerende activiteit tijdens onderwijsinterventies in gewone klassesituaties in drie verschillende scholen. Daarbij werd niet uitgegaan van een onderzochte of gebleken begripsproblematiek, maar werd -mede op basis van onderzoek naar begripsinhouden in de vakwetenschap enerzijds en naar de voorkennis van leerlingen anderzijds- onderwijsmateriaal ontwikkeld waarmee bij leerlingen een interactie tussen hun voorkennis en de nieuw aangeboden informatie zou kunnen worden bewerkstelligd. De aandacht ging in dit onderzoek vooral uit naar kennisontwikkeling als uitkomst van deze interactie. Dit betekende dat in dit onderzoek naar de *leereffecten* (als opbrengst van leerprocessen) werd gekeken, en niet naar de ontwikkelingsweg(en) van de begripsinhouden bij individuele leerlingen.

Het (vak)inhoudelijke rendement van het uitgevoerde onderwijs werd beschreven in hoofdstuk 6. Geconstateerd werd dat er over de hele linie -d.w.z. in alle onderzoeksgroepen en bij alle leerlingen- een duidelijke kennisontwikkeling is opgetreden met betrekking tot de sleutelbegrippen uit het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven'. Dit kwam zowel naar voren uit het onderzoek van proefwerkresultaten als uit het longitudinale onderzoek, waarbij gemiddeld 32% van de leerlingen het eindniveau 'expert knowledge' bereikte.

In het licht van de verschillende leereffecten die bij de beproeving van het onderwijsontwerp zijn gebleken, komt de vraag naar voren welke aanwijzingen hieruit voortkomen voor het opzetten van onderwijs en onderwijsmateriaal over het thema regulatie en homeostase.

Alvorens hiertoe een poging te doen, stel ik vast dat -conform wat reeds in hoofdstuk 6 werd opgemerkt- de gesignaleerde leereffecten waarschijnlijk slechts in beperkte mate direct aan het onderwijsmateriaal kunnen worden toegeschreven, maar dat deze mogelijk sterker beïnvloed zijn door de wijze waarop docenten met dit materiaal hebben gewerkt. Het ontbreken van (precieze) onderzoeksgegevens over de wijze waarop de docenten invloed hebben uitgeoefend bij het werken met het materiaal is een omissie. Daardoor is het moeilijk om gefundeerde uitspraken te doen over de relatie tussen inhoud en vorm van het leerlingenmateriaal en de gesignaleerde effecten. Voorts zijn de beschikbare onderzoeksgegevens verzameld tijdens een eenmalige onderzoeksrondte (-cyclus) op enkele scholen. Ook dit beperkt de mogelijkheden om gefundeerde uitspraken te doen.

Niettemin wil ik toch nagaan of er in het verlengde van de onderzoeksresultaten aanwijzingen gegeven kunnen worden voor verbeteringen in het materiaal die tot versterking van leereffecten kunnen leiden. Daarbij ga ik in de eerste plaats in op de *structuralistische dimensies* van het ontwerp, en wel aan de hand van de onderzoeksresultaten betreffende de kennisontwikkeling over regulatie op celniveau. Aangezien de kennisontwikkeling over dit aspect in alle groepen een relatief lage score te zien geeft, ga ik eerst in op mogelijke achtergronden hiervan.

Bij het invullen van de betreffende paragrafen werd aangenomen dat kon worden aangesloten op (enige) voorkennis over osmose en diffusie en -in het verlengde daarvan- het functioneren van *Paramecium*. Uit de onderzoeksresultaten kan worden opgemaakt dat deze aanname waarschijnlijk onjuist was gezien het feit dat aan dit thema in enkele scholen relatief veel tijd moest worden besteed. Voorts kan -ook achteraf- worden geconstateerd dat in het ontwerp verhoudingsgewijs veel nadruk wordt gelegd op de fysische aspecten van de waterhuishouding, en dat weinig aandacht is gegeven aan de biologische achtergronden van regulatie op celniveau. Dit heeft mogelijk de leerlingen bevestigd in hun 'fysische' kijk op regulatieprocessen op celniveau, zoals die uit de onderzoeksresultaten naar voren komt. In vergelijking hiermee geven de onderzoeksresultaten aan dat de kennisontwikkeling over regulatie op organismeniveau effectiever is geweest. Dit is mogelijk veroorzaakt doordat het wisselwerkingsconcept op het organismeniveau werd geïllustreerd aan de hand van concrete voorbeelden, die rechtstreeks in verband konden worden gebracht met persoonlijke concrete 'levens'kennis van regulatieverschijnselen. De benadering op dit niveau was erop gericht om regulatie te leren zien en duiden als een middel tot beheersing van de wisselwerking van organisme en omgeving.

De kennisontwikkeling over regulatie op populatieniveau is weer minder duidelijk geweest: weliswaar werd op dit niveau aandacht aan de verschijningsvorm en kenmerken van populaties besteed, maar het op dit niveau werkzame specifieke regulatietype was in het materiaal niet in detail uitgewerkt.

Mogelijkheden voor herziening

De vraag is of -gezien het voorgaande- wijzigingen in het materiaal ertoe kunnen bijdragen om de kennisontwikkeling over regulatie op celniveau te versterken. Daarbij zijn twee opties denkbaar. De eerste optie is om het celniveau -evenals in het huidige ontwerp- als eerste aan de orde te stellen maar tevens na te gaan op welke plaats en wijze een meer diepgaande behandeling van de biologische achtergronden van regulatie op celniveau in het ontwerp aan de orde kan komen. De tweede optie is om het celniveau als geheel op een later moment aan de orde te stellen, nadat de systeembenadering en de principes van biologische regulatie zijn geïntroduceerd op het organismeniveau.

Met de keuze van de *eerste optie* is de vraag aan de orde welke gewijzigde invulling van het ontwerp moet worden overwogen. De oorspronkelijk gekozen instap op celniveau blijft gehandhaafd. Daarbij moet het accent dan primair liggen op de structuur:

de kennismaking met -primair de bouw van- de eencellige blijft aldus de opstap naar de modelmatige benadering van organismen, waarbij de systeembenadering en het wisselwerkingsconcept aan de orde komen. Dit houdt in dat na het aspect structuur (bouw van de cel) ook aandacht aan de relatie van de eencellige met de omgeving wordt geschonken. Op celniveau komt het aspect regulatie, in de zin van beheersing van de wisselwerking, op dit moment *nog niet* aan de orde.

Op deze herziene invulling van het celniveau kan het organismeniveau aansluiten: er lijkt geen aanleiding om hierin wijzigingen aan te brengen. Dit houdt in dat pas nadat de noodzaak en biologische functie van beheersing van het systeem is verkend het eerste voorbeeld van biologische regulatie aan de orde wordt gesteld, en wel aan de hand van de temperatuurregulatie bij de mens. Uit het empirische onderzoek blijkt dat de voorkennis van leerlingen rijk uitgangsmateriaal bevat voor kennisontwikkeling over temperatuurregulatie. Ditzelfde geldt ook voor het in het ontwerp gebruikte toepassingsvoorbeeld over koorts. Ook de hierop aansluitende theoretische en modelmatige benadering van regulatieprocessen kan worden gehandhaafd: een aanzienlijk deel van de leerlingen kan na afloop van de lessenreeks op een adequate manier werken met het gepresenteerde regelkringmodel.

Vervolgens komt nogmaals -en dit is nieuw- het celniveau aan de orde waarbij nu het aspect regulatie wordt uitgewerkt. Het leven en overleven van de eencellige kan dan op celniveau op dezelfde functioneel-biologische wijze worden benaderd als op organisme-niveau reeds werd gedemonstreerd en geoefend. Deze invulling betekent een tweede ronde op celniveau, waarbij kennis over regulatie nu op dit niveau wordt toegepast, en verder wordt uitgebreid. Daarbij kan ondersteuning met een practicum en/of met audiovisuele middelen een belangrijk hulpmiddel zijn om ook op dit organisatieniveau kennisontwikkeling op grond van eigen waarnemingen en ervaringen te stimuleren.

Hierna kan regulatie op populatieniveau aan de orde komen. Gezien de onderzoeksresultaten moet overwogen worden om voorbeelden te gebruiken, waarin het specifieke karakter en de complexiteit van regulaties op dit niveau preciezer wordt geïllustreerd. Door in de leergang op twee momenten het celniveau aan de orde te stellen, verliezen leerlingen mogelijk enig overzicht aangaande de grote lijnen van het thema.

Om deze reden is het gewenst om het materiaal af te sluiten met een terugblik op het thema, waarin de verschillen en de overeenkomsten tussen regulatietypen op de verschillende organisatieniveau's worden samengevat. Daarbij kan gedacht worden aan een vorm waarbij de leerlingen zelf de balans opmaken van wat ze hebben geleerd.

Met de keuze voor de *tweede optie* zou het organismeniveau als eerste worden behandeld en dienen voor het introduceren van de systeembenadering, het wisselwerkingsconcept en de functioneel-biologische benadering van regulatie. Dit zou betekenen dat een didactische structuur wordt gekozen die afwijkt van de op basis van de vakstructuur gekozen ordening van eenvoudige(r) naar complex(ere) systemen. In vergelijking met de uitwerking van de eerste optie heeft dit als mogelijk nadeel

dat de -ook met het huidige ontwerp- beoogde modelmatige introductie van de systeembenadering, waarbij de bouw van een eencellige als grondvorm van een systeem wordt genomen, wegvalt.

Hiermee werd beoogd om aan de basiskenmerken van een levend systeem en de interactie van het systeem met de omgeving aan de hand van een 'eenvoudig' voorbeeld te illustreren en te benoemen. Dit vormt de eerste stap bij het aanleren van de 'taal' van de systeembenadering. Als volgende stap werd deze 'taal' in het oorspronkelijke ontwerp opnieuw toegepast, maar nu op een complexer, cq. meercellig organisme. De meercellige wordt daarbij gezien en voorgesteld als een ingewikkelder variant van de geïntroduceerde grondvorm. Uit de onderzoeksresultaten blijkt dat bij een groot deel van de leerlingen kennis over de systeembenadering is ontwikkeld: zij kunnen deze gebruiken cq. toepassen. Waarschijnlijk is dat de in het ontwerp gekozen volgorde er toe heeft bijgedragen dat leerlingen na de introductie ervan op celniveau vaardigheid bezaten in het hanteren van de systeembenadering en deze vaardigheid konden gebruiken om op organismeniveau (verschijnselen van) regulatie in een (biologisch) overlevingsperspectief te plaatsen.

Realistische dimensies zouden in vervolg-ontwerpen sterker naar voren kunnen komen door op meer momenten uit te gaan en gebruik te maken van de voorkennis en de denkbeelden van de leerlingen en deze te laten inbrengen in een sociale leeractiviteit van het type dat is beschreven en onderzocht in de pilotstudie uit § 4.4. Daarmee zou tevens dit aspect van de beoogde constructivistische didactische praktijk in de klas worden beproefd.

De voorgaande uitwerkingen van beide structuralistische opties bevatten een aantal hypothesen omtrent mogelijke voor- en nadelen van de betreffende uitwerking. Dit betekent dat aanzetten zijn gegeven voor *vakdidactisch vervolgonderzoek*. Overwogen moet worden om beide opties uit te werken in onderwijsontwerpen, en vervolgens vergelijkend onderzoek te verrichten naar de beproeving van beide ontwerpen in de klaspraktijk. Om hieraan conclusies te kunnen verbinden is het van essentieel belang om de verschillen in onderwijs- en afnamecondities tussen beide onderwijsinterventies zo beperkt mogelijk te houden en om daarbij in ieder geval de invloed van de factor docentgedrag te onderzoeken. Dit laatste mede in het licht van de methodologische kanttekeningen die zijn gemaakt in § 6.7 van dit proefschrift.

Eenzelfde aanzet voor vervolgonderzoek betreft de uitwerking van sociale leeractiviteiten in het ontwerp. Ook hier zal onderzoek in de klas kunnen uitwijzen in hoeverre deze werkwijze bijdraagt aan een versterking van leereffecten.

Verdere ontwikkeling van thema en schoolvak

De bijdrage die met het onderwijsontwerp 'Geregeld overleven' is geleverd aan de ontwikkeling van het schoolvak is kleinschalig: dat wil zeggen dat één (belangrijk) themagebied uit de biologie is vertaald in onderwijsmateriaal voor een lessenreeks van beperkte omvang. Gezien dit laatste wil ik ingaan op de vraag in hoeverre

elementen uit deze studie bruikbaar zijn voor de verdere ontwikkeling van het schoolvak.

Het ontwerp 'Geregeld overleven', waar het in deze studie om gaat, was bedoeld als een eerste toonzettende introductie voor de meer diepgaande behandeling van het thema in 5 VWO [2]. Bij de verantwoording ervan werd aangegeven dat dit moest dienen als basis voor meerdere deelcurricula over het thema regulatie en homeostase in de bovenbouw van het VWO. De PBB-ontwikkelgroep had op het oog om rond het thema meerdere ontwerpen (units) te maken, waarvan er twee werden gerealiseerd. Naast 'Geregeld overleven' kwam voor 4 VWO het ontwerp 'Het leven geregeld' tot stand [7]. Dit was enerzijds bedoeld als een inleiding op het thema, maar had anderzijds ook een eindonderwijs-functie. Het moest leerlingen die na 4 VWO geen biologieonderwijs meer zouden kiezen, voorzien van enige basiskennis over het thema. Binnen de looptijd van het PBB-project konden de overige beoogde vervolgunits niet worden gerealiseerd. Het blijft een belangrijke optie om met andere deelcurricula aan te sluiten op het ontwerp 'Geregeld overleven'. Hierin kan meer inhoudelijke diepgang worden gegeven aan het thema op de verschillende organisatieniveaus. Op organismeniveau komen, in vervolg op temperatuurregulatie, in aanmerking de regulatie van ademhaling, bloeddruk en bloedsuikerspiegel, lichaamsgewicht en de osmoregulatie. Op populatieniveau zou het onderscheid tussen (de invloed van) dichtheidsafhankelijke en dichtheidsonafhankelijke variabelen als belangrijk kenmerk van deze regulaties aan de orde gesteld kunnen worden. Dit onderscheid is mede van belang om de verschijnselen en effecten aangaande de toename van de menselijke populatie ook vanuit een (meer) biologische invalshoek te kunnen benaderen. Op celniveau kan een verdieping plaatsvinden door in het kader van celstofwisseling voorbeeldmatig het transport van bepaalde stoffen en de regulatie hiervan uit te werken.

De uitwerkingen die Voogt heeft gegeven rond transport en regulatie van cholesterol en calcium(voorraden) in de cel en de regulatie van het lichaamsgewicht bevatten aanzetten hiertoe [8,9,10].

Op grond van de in deze studie gerapporteerde ervaringen en onderzoeksresultaten aangaande het gebruik van de organicistische visie als uitgangspunt en raamwerk voor het ontwikkelen en concretiseren van biologieonderwijs cq. onderwijsmateriaal is te overwegen om deze benadering van leven en levensverschijnselen ook te kiezen en uit te werken voor andere deelcurricula, wat impliceert dat deze belangrijke kijk- en denkwijzen uit de biologie op bredere schaal worden geoefend en aangeleerd. Als substraat hiervoor is een basale kennis noodzakelijk van de structuren en processen waarmee het leven zich manifesteert op de *drie* prominente organisatieniveaus (cel / organisme / populatie). De uitkomsten van het empirische onderzoek laten zien dat het organismeniveau geschikt is om -uitgaande van de voorkennis van leerlingen- kennis te ontwikkelen over structuur-functie-relaties. In het huidige examenprogramma en leerplan wordt aan deze relaties nagenoeg geen aandacht meer gegeven op het organismeniveau, niet bij planten en evenmin bij dieren. Voorzover aan dit laatste aandacht wordt besteed, vindt dit plaats met betrekking tot het menselijk lichaam.

Dit leidt -in ieder geval in de bovenbouw- tot een sterke onderbelichting van de biologie van organismen, in de zin dat het huidige examenprogramma geen tijd en ruimte laat voor een meer representatieve en evenwichtige benadering van dit systeemniveau.

Overigens kan ook nog vanuit een ander gezichtspunt worden gewezen op de relevantie van het organismeniveau voor het biologieonderwijs. Algemeen wordt erkend dat de biologische diversiteit en de bedreiging daarvan als thema ('Biodiversiteit') in het onderwijs aan de orde moet komen. Gezien het feit dat biodiversiteit - zeker voor jongeren cq. leerlingen op school- primair zichtbaar is in de verscheidenheid en veelheid van organismen, is het noodzakelijk dat leerlingen beschikken over basiskennis van de eenheid én verscheidenheid in levensvormen op organismeniveau. Ook dit is een argument om de accenten die momenteel worden gelegd in het biologieonderwijs en het leerplan te herzien.

Het bovenstaande pleidooi voor het gebruik van de organicistische visie als een nieuwe overkoepelende benadering van het biologieonderwijs op school kan ook nog vanuit een ander gezichtspunt worden gevoerd, en wel met het oog op de aansluiting van het voortgezet onderwijs op het hoger onderwijs.

Op enkele universiteiten, waaronder die van Utrecht, wordt in het facultaire onderwijs ook gebruik gemaakt van de overkoepelende principes die hiervoor schetsmatig werden beschreven en wordt aldus een breed perspectief op de biologie geboden. Door hiervan ook gebruik te maken in het voortgezet onderwijs zal een eerste aanzet worden gegeven om deze kijk- en denkwijze bij leerlingen te ontwikkelen. Dit zal tot een betere aansluiting kunnen leiden op de vervolgstudies in de levenswetenschappen in het hoger onderwijs; naast de studie biologie geldt dit evenzeer voor studies als geneeskunde, diergeneeskunde en medische biologie. Aldus wordt ook een bijdrage geleverd aan een betere aansluiting van het voortgezet onderwijs op het hoger onderwijs.

7.3 Aanbevelingen

In het licht van de voorgaande beschouwingen en kanttekeningen worden de volgende aanbevelingen gedaan.

Met het oog op *biologieonderwijs op secundair niveau* wordt aanbevolen:

- om de organicistische visie op leven te gebruiken als uitgangspunt en raamwerk voor het structureren en invullen van dit onderwijs;
- om biologische principes en overkoepelende concepten thematisch te benaderen en op meerdere organisatieniveaus aan de orde te stellen cq. te illustreren;
- om in dit onderwijs -naast de hiervoor aangeduide benaderingen van structuralistische aard- uit te gaan en gebruik te maken van realistische elementen, zoals de voorkennis en de ervaringen van de leerlingen;
- om -gezien dit laatste- nadrukkelijker en diepgaander aandacht te schenken aan de biologie van organismen;

- om bij het concretiseren en invullen van onderwijsmateriaal, bestemd voor gebruik door docenten en/of leerlingen gebruik te maken van de praktijkkennis en ervaring van biologiedocenten.

Met het oog op *onderwijs over de thematiek van regulatie en homeostase* wordt aanbevolen:

- om regulatie en homeostase te benaderen als functie en te plaatsen in een overlevingsperspectief;
- om gebruik te maken van de kennis en de ervaringen die de leerlingen hebben van verschijnselen van regulatie en homeostase;
- om met leerlingen hun kennis van processen van diffusie en osmose te verkennen alvorens in te gaan op biologische regulatie op celniveau;
- om voor het beschrijven en onderscheiden van de verschillende typen van regulatie gebruik te maken van de in dit proefschrift uitgewerkte karakterisering en terminologie;
- om -in het verlengde hiervan- onderscheid te maken tussen homeostase als paraplu begrip en een homeostatische regulatie, als aanduiding van een specifiek regulatietype;
- om voor het introduceren en illustreren van (het principe van) een homeostatische regulatie gebruik te maken van het voorbeeld van lichaamstemperatuurregulatie bij de mens;
- om -voorafgaand aan het gebruik van dit voorbeeld- met de leerlingen hun kennis van het basaalmetabolisme te verkennen.
- om vervolg-deelcurricula over deze thematiek uit te werken, zoals eerder aangegeven in dit hoofdstuk.

Met het oog op *vervolgonderzoek* wordt aanbevolen:

- om de in dit hoofdstuk aangegeven ontwerp-opties nader uit te werken en vergelijkend onderzoek te verrichten naar de effecten van het gebruik van deze onderwijsontwerpen in de klaspraktijk;
- om hierbij systematisch aandacht te schenken aan de invloed van het gedrag van leerkrachten.

Referenties

- [1] *Regeling examenprogramma biologie v.w.o.* (1991) Uitleg, O.& W.-regelingen 14, Den Haag.
- [2] Buddingh', J., M.J.A.Kamp & P.A.Voogt (z.j.) *Geregeld overleven*. SLO, Enschedé.
- [3] *Eindverslag Projekt Bovenbouw Biologie* (1995) S.L.O., Enschedé.
- [4] Treffers, A.(1990) *Wiskunde-onderwijstheorie of β -onderwijstheorie* ? In: P.L.Lijnse & W.de Vos (Red.), *Didactiek in Perspectief*. CD- β Press, Utrecht.
- [5] Lijnse, P.L.(1988) *Onderzoek, ontwikkeling en ontwikkelingsonderzoek na het PLON*. In: Gravemeijer, K. & K.Koster (Eds.), *Onderzoek, onderzoek en ontwikkelingsonderzoek*. OW & OC, Utrecht.
- [6] Kapteyn, M. (1990) *The functions of organisational levels in biology for describing and planning biology education*. In: P.L.Lijnse, P.Licht, W.de Vos & A.J.Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*. CD- β Press, Utrecht.
- [7] Voogt, P.A., M.J.A.Kamp & J.Buddingh' (1992) *Het leven geregeld*. SLO, Enschedé.
- [8] Voogt, P.A. (1995) *Calcium homeostase*. Bull.Onderw.Biol. 26(154),31-37.
- [9] Voogt, P.A. (1996) *Cholesterol homeostase*. NVOX 21(1),6-11.
- [10] Voogt, P.A. (1996) *Lichaamsgewicht: homeostatisch geregeld of punt van voortdurende zorg* ? Bull.Onderw.Biol. 27(160),4-12.

BIJLAGEN

BIJLAGE 4-1 WERKBOEK PILOTSTUDIE

Rijksuniversiteit te Utrecht

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen



Didactiek van de Biologie



Instructie

Vooraf lezen s.v.p

- o Hierna vind je drie teksten met opdrachten (A, B en C), die je na elkaar moet lezen en afwerken.
- o Het is de bedoeling dat je A eerst helemaal afwerkt, voor je met B begint.
Tenslotte ga je met tekst en opdracht C aan het werk.
- o Als je met tekst B bent begonnen mogen er geen veranderingen meer in A worden aangebracht. Niet aanvullen of verbeteren dus !
Hetzelfde geldt voor tekst B, als je met C bent begonnen.
Je mag wel gebruik maken van de voorgaande teksten; terugkijken is dus wel toegestaan.
- o Gebruik per tekst plus opdracht maximaal 15 minuten, zodat je de hele set hebt doorgewerkt aan het eind van het lesuur.
- o Tenslotte: het is de bedoeling van dit onderzoek om zoveel mogelijk te weten te komen over wat jullie weten en hoe jullie denken.
Schrijf dus alles op wat bij je opkomt !

NAAM:

KLAS:

TEKST A

Ben J. laat zich door sportarts A. onderzoeken in verband met zijn lichamelijke conditie.

Het onderzoek begint met het bepalen van de hartfrequentie, ademhalingsfrequentie en lichaamstemperatuur in rusttoestand.

Voorafgaand aan deze metingen heeft Ben J. 15 minuten rustig in een stoel gezeten.

Volgende gegevens worden geregistreerd:

hartslag 60 slagen per minuut, ademhaling 15 x per minuut, lichaamstemperatuur 37 C.

Vervolgens moet Ben J. 500 meter hardlopen.

Onmiddellijk hierna worden hartslag, ademhalingsfrequentie en lichaamstemperatuur opnieuw gemeten.

Dit levert de volgende gegevens: hartslag 115 x per minuut, ademhaling 40x per minuut, lichaamstemperatuur 37 C.

Daarnaast is zichtbaar dat Ben J. hevig transpireert.

Ben J. gaat vervolgens 15 minuten rustig zitten. Na deze periode zijn hartslag en ademhalingsfrequentie weer gelijk aan de eerste metingen.

De lichaamstemperatuur is 37 C.

Na het onderzoek drinkt Ben J. water om zijn dorst te lessen.

OPDRACHT BIJ TEKST A

Maak - met behulp van de waarnemingen van sportarts A - een tabel waarin je noteert wat er van het begin tot het einde van de test gebeurt.

Geef een of meer verklaringen voor het feit dat sommige van de gemeten waarden tijdens de test veranderen, en andere niet.

TEKST B

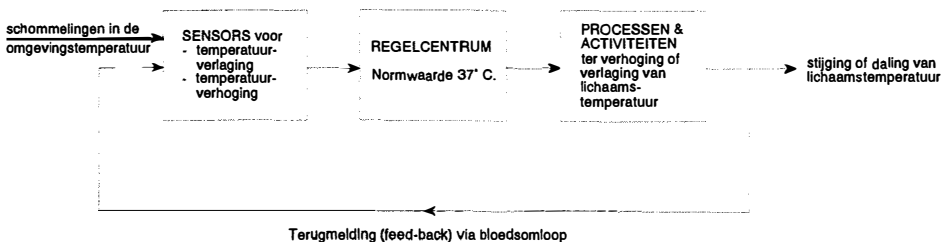
In de voorgaande tekst ging het om het constant blijven van de lichaamstemperatuur. Hiervoor zorgen zogenaamde homeostatische mechanismen. Dit zijn regulatieprocessen met een in het organisme vastliggende normwaarde.

Een eenvoudig voorbeeld van zo'n proces is -in zekere zin- de regeling van de kamertemperatuur met behulp van een kamerthermostaat. De door de bewoner gewenste temperatuur (bijvoorbeeld 21 C.) fungeert als 'normwaarde'.

Bij afwijking van deze temperatuur wordt het verwarmen van de kamer onderbroken of (opnieuw) gestart.

Kenmerkend is dat de terugmelding ('feed-back') van afwijkingen van de normwaarde een reactie veroorzaakt (namelijk verwarming of afkoeling van de kamer) om de kamertemperatuur weer gelijk te maken aan de normwaarde.

De warmteregulatie van het menselijk lichaam kan schematisch als volgt worden weergegeven:



Let op: in dit systeem zijn 'sensors' ingebouwd voor het constateren van temperatuurafwijkingen: in de huid en binnenin het lichaam worden temperatuurverlagingen en temperatuurverhogingen geregistreerd.

OPDRACHT BIJ TEKST B

Lees nu het antwoord dat je hebt gegeven bij opdracht A nog eens door.

Geef hieronder commentaar op dit antwoord en maak daarvoor gebruik van het schema dat je zojuist heb bestudeerd in tekst B.

Als je je antwoord bij opdracht A wilt aanvullen of verbeteren, kun je dat hieronder doen.

TEKST C

In 1911-1912 maakte Robert F. Scott met vier metgezellen te voet een tocht van 1500 kilometer om de Zuidpool te bereiken. Scott en zijn mannen bereikten de Zuidpool na twee-en-een-halve maand.

De terugtocht overleefden zij niet: ze keerden niet terug in het basiskamp. De lichamen werden vele maanden later teruggevonden.

OPDRACHT BIJ TEKST C

Kun je -gebruikmakend van het schema van de temperatuurregeling van het menselijk lichaam (tekst B)- een 'wetenschappelijke verklaring geven voor de dood van de poolreizigers ?

BIJLAGE 4-2

TEMPERATUURREGULATIE:

INDIVIDUELE UITSPRAKEN EN SCHEMA'S VAN GROEP 1

Groep 1

Termen op de kaartjes, in de door de leerlingen opgeschreven volgorde en de gereconstrueerde schema's.

Geel: (Ma.)

1. dikte van de huid (vet)
2. opp. grote (kleine /grote uitsteeksels)
3. aantal bloedvaten
4. vochtigheid
5. voedsel
6. bloedstelsel → warmte naar buiten
7. verbrandingswarmte naar spieren als je je inspent
8. spieren verwarmen het lichaam
9. warmte te veel weg via 6, 10, 11
10. via de huid
11. via de tong
12. activiteit → lichaamstemperatuur stijgt
13. activiteit laag + geen invloed buitentemp. → lichaamstemp. daalt
14. buitentemperatuur

BLAUW: (H)

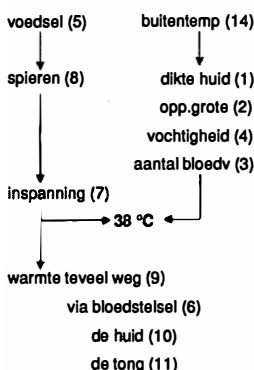
- | | nummer van vervangend kaartje |
|---|---|
| 1. grootte van lichaamsdelen (bijv. oren) | 13 |
| 2. vacht (dik/dun) | 13 |
| 3. huid/vetlaag | 13 |
| 4. warmte weg via bloed | 14 |
| 5. warmte weg via 'verwarmingsstelsel' | 14 |
| 6. veel energie weg via tong | 14 |
| 7. spieren werken → warmte | =8 |
| 8. actief | |
| 9. buitentemperatuur | |
| 10. lichaamstemperatuur | |
| 11. weggelopen in hol | |
| 12. voedsel | |
| 13. lichaamsbouw (om warmte vast te houden) | 1,2,3 |
| 14. warmte kwijt raken | 4,5,6,11 |
| 15. warmte te kort | - vetlaag
- vacht
- klein opp
- actiever |

ROOD: (Mi)

1. huid(vette onderlaag)
2. vacht
3. oppervlakte van de uitstekende organen
4. warmte afstaan .oa via tong , zweten
5. spierwarmte → teveel → tong weg
6. meeste activiteit op lage temp
7. omgevingstemp (beïnvloedt lichaamstemp)
8. teveel warmte
9. meeste activiteit als voedsel nodig is voor lichaamstemp op peil
10. weinig actief

Ma:

Schema



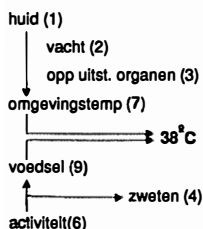
Tekst

als je voedsel hebt dan eet je dat ...dus verbranden....die verbrandingswarmte gaat naar je spieren als je je inspent verwarmen die het lichaam dan gaat de LT omhoog...teveel warmte gaat weg via de huid, de tong, het bloed dus eerst de LT omhoog en dan omlaag. Als de buitentemperatuur laag is dan heb je een dikke huid, een klein oppervlak, weinig bloedvaten en de vochtigheid in het lichaam is laag en dat beïnvloedt ook de LT dus twee takken:voedsel dat omhoog en omlaag gaat en de buitentemperatuur.

P!die zorgen er samen voor
Ma: dat de LT gelijk blijft.

Mi:

Schema

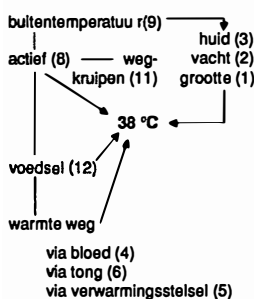


Tekst

omgevingstemperatuur beïnvloedt de LT en die omgevingstemperatuur wordt weer beïnvloedt door de huid de vacht en de opp van de uitstekende organen...die omgevingstemp. beïnvloedt de activiteit want meeste activiteit bij lage temp. ...ook hoeveelheid voedsel die nodig is beïnvloedt LT want als je meer voedsel nodig hebt heb je meer activiteit. Het teveel aan warmte scheidt je af door zweten

H:

Schema



Tekst

Je hebt en buitentemp en die beïnvloedt de activiteit en de lichaamsbouw...activiteit bestaat uit voedsel...energie met die activiteit gaat de LT omhoog...die lichaamsbouw beïnvloedt de LT, hij kan dikke huid, dikke vetlaag hebben of juist niet dan heb je dus een LT...een lagere LT wordt gecompenseerd door de lichaamsbouw die zorgt ervoor dat je een bepaalde LT van 38 hebt...als de LT te hoog is kun je warmte kwijt raken via het bloed, de tong, het verwarmingsstelsel of de huid of via minder actief worden, in een hol kruipen dat heeft consequenties voor de LT.

spieren werken → warmte (7) =
actief (8)

BIJLAGE 4-3

TEMPERATUURREGULATIE:

INDIVIDUELE UITSPRAKEN EN SCHEMA'S VAN GROEP 2

Groep 2

Termen op de kaartjes, in de door de leerlingen opgeschreven volgorde en de gereconstrueerde schema's.

Geel: (E.)

1. dikte van de vacht
2. beschutting
3. voedsel
4. Inspanning
5. bloedvatensysteem(warm bloed verwarmt koud bloed)
6. vrijkomende energie
7. warmer bloed
8. bloed dat afkoelt bij de tong

Blauw: (S.)

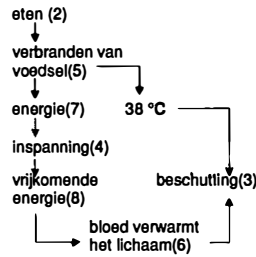
1. dikte vacht
2. eten
3. beschutting
4. Inspanning
5. verbranden voedsel
6. bloed verwarmt het lichaam (energie gaat door het lichaam)
7. energie
8. vrijgekomen energie uit de spieren

Rood: (L.)

1. voedsel
2. dikte van de vacht
3. inspanning
4. beschutting
5. huid
6. bloed
7. bloed

S:

Schema

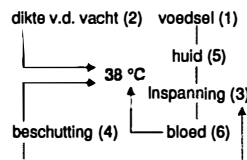


Tekst

eten, heb je verbranding van voedsel dan komt er energie vrij dan ga je inspanning leveren dan komt energie vrij bij de spieren, bloed verwarmt het hele lichaam waardoor het lichaam weer warm wordt dan zoek je beschutting waardoor het weer 38 °C wordt

L:

Schema

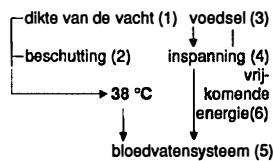


Tekst

kijk dit is van de lichaamstemperatuur, een dikkere vacht zorgt daarvoor en als hij eet krijgt hij een te dunne huid en kan zich meer Inspannen het bloed stroomt dan naar de tong en rond en dan blijftde LT goed en beschutting hangt er los bij....als hij beschutting zoekt dan spant hij zich niet veel in.

E:

Schema



Tekst

deze twee dingen: dikte van de vacht en beschutting en dan heb ik bij voedsel een pijl naar Inspanning, door die Inspanning komt er energie vrij en dan wordt het bloed warmer dan stroomt het verder en dan koelt het weer af bij de tong en daarna blijft de temp 38 °C.

Bij de tweede groep leerlingen is niet gevraagd het verhaal bij het gezamenlijk schema te vertellen. De concentratie was bij met name één leerling duidelijk aan het verminderen. Dit schema kon dan ook niet gereconstrueerd worden.

BIJLAGE 5-1
ONDERWIJSONTWERP 'GEREGELD OVERLEVEN'

GEREGELD OVERLEVEN

**Lesmateriaal voor bovenbouw VWO
ontwikkeld in het kader van**

Project Bovenbouw Biologie

Drs. J. Buddingh'
Drs. M.J.A. Kamp
Prof.Dr. P.A. Voogt

INHOUDSOPGAVE

Inleiding

Leerlingentekst 'Geregeld overleven'

Toelichting voor docenten

Literatuur- en bronvermelding

Bijlagen

INLEIDING

De kern van deze bundel wordt gevormd door het leerlingmateriaal 'Geregeld overleven', bestemd voor gebruik in een lessenserie in 5 of 6 VWO.

Het ontwikkelen van dit materiaal vond plaats in het kader van het Project Bovenbouw Biologie met als doel de invoering van vernieuwde onderdelen uit het WEB-programma te stimuleren en te ondersteunen.

Punten van vernieuwing die in dit lesmateriaal zijn verwerkt betreffen

- de optiek van waaruit wordt gekeken naar 'het leven'; als overkoepelend kader is gekozen voor een systeembenadering van levende systemen, waarbij regulatie en homeostase in perspectief van het functioneren van levende systemen wordt geplaatst. Deze visie sluit aan op huidige kijk- en benaderingswijzen in de biologie,

- een visie op leren en kennisverwerving, waarbij eigen ervaringen van leerlingen en de daarop gebaseerde -reeds aanwezige- kennis en denkbeelden van groot belang worden geacht; dit komt tot uiting in de inhoud en vormgeving van een aantal paragrafen, waarin deze kennis wordt geactiveerd en gebruikt als aanzet voor verder leren. Ingespeeld wordt met name op de kennis en ideeën die mensen hebben over het functioneren van hun eigen lichaam. Beoogd wordt om op deze wijze verbindingen tot stand te brengen tussen de biologische informatie en de eigen leefwereld.

Tijdens de ontwikkelfase is met het lesmateriaal op vier verschillende scholen -d.w.z. in vier klassen 5 VWO- gewerkt. In de hierna gepresenteerde versie zijn de gebruikservaringen op deze scholen verwerkt.

De uitvoering van de lessenserie vraagt een tijdsbeslag van 6-10 uren, afhankelijk van de omvang van de inbreng van leerlingen tijdens de lessenserie.

In deze bundel is naast het leerlingmateriaal een toelichting voor docenten opgenomen, waarin beknopt de gemaakte keuzes worden toegelicht, gevolgd door gebruikssuggesties per paragraaf, inclusief een uitwerking van de leerlingopdrachten. Als bijlage zijn een aantal in het materiaal gebruikte figuren opgenomen, bruikbaar voor het produceren van kopieën en/of o.h.-sheets.

Bij het ontwikkelen van het materiaal werkten vanaf het begin docenten mee in het projectteam. Deze docenten, Jan Duiverman en Rinus van de Heykant, hebben vanuit hun kennis van leerlingen en onderwijspraktijk belangrijke bijdragen geleverd. Daarnaast werd ontwikkeld materiaal door hen ook in de klassesituatie beproefd. Twee andere docenten, Gerard Blok en Nol Duindam, waren eveneens bereid het materiaal met hun leerlingen uit te testen.

Het auteursteam vertrouwt erop dat door deze constructie een garantie werd ingebouwd om de toekomstige gebruikers -waarmee zowel leerlingen als docenten zijn bedoeld- een interessant, bruikbaar en motiverend produkt voor te leggen.

Voor commentaar, suggesties ter verbetering houden de auteurs zich graag aanbevolen. U kunt Uw reactie inzenden ter attentie van de hierna vermelde eerste auteur. Adres: Vakgroep Didactiek van de Biologie, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Princetonplein 5, 3584 CC Utrecht.

Voor nadere informatie over vakbiologische en/of vakdidactische aspecten kunt U zich eveneens wenden tot dit adres.

Joop Buddingh'
Marcel Kamp
Peter Voogt

LEERLINGENTEKST

1. EENCelligen: HET PANTOFFELDIERTJE IN ZIJN MILIEU
2. DE WISSELWERKING TUSSEN ORGANISME EN OMGEVING
3. EENCellig - MEERCELLIG: EEN VERGELIJKING
4. REGULATIE IN BIOLOGISCHE SYSTEMEN
5. ORGANISME EN TEMPERATUUR
6. HET ORGANISME ALS WARMTECENTRALE
7. HET TEMPERATUURREGULATIESYSTEEM BIJ DE MENS
8. TE VEEL WARMTE ?
9. REGULATIETHEORIE: DE REGELKRING
10. REGULATIE IN POPULATIES
11. BIJZONDER GEREDELDE POPULATIES

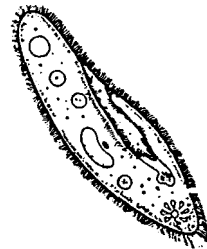
Overzicht van de inhoud

In deze lessenreeks gaat het om het belang en de werking van regelingen in levende systemen. In de eerste paragrafen wordt gekeken naar twee typen organismen: *eencelligen* (§ 1 - 2) en *meercelligen* (§ 3). Centraal staat de wisselwerking van deze organismen met hun omgeving. Naast verschillen blijken er ook duidelijke *overeenkomsten* te bestaan tussen het systeem cel en het systeem organisme.

Vervolgens komt het belang van *regulatie* voor de zelfhandhaving van een levend systeem aan de orde (§ 4).

In de daarop volgende paragrafen wordt -aan de hand van het voorbeeld van de regulatie van de lichaamstemperatuur bij de mens- nagegaan *met welk doel* deze regulatie plaatsvindt (§ 5 - 6) en *hoe* deze precies verloopt bij een hoger ontwikkeld organisme (§ 7 - 8).

Daarna komt een stukje regulatietheorie aan de orde (§ 9), en wordt verkend hoe regulatie in het systeem *populatie* precies verloopt (§ 10 - 11).



§ 1 - EENCCELLIGEN: HET PANTOFFELDIERTJE IN ZIJN MILIEU

Eencelligen zijn organismen die uit één cel bestaan.

Als voorbeeld van een eencellige nemen we het Pantoffeldiertje (*Paramecium*), fig.1. Pantoffeldiertjes komen algemeen voor in vijvers, sloten enz. Ze ontwikkelen zich meestal ook in water waar een boeket bloemen wat langer in heeft gestaan. Het afgebeelde Pantoffeldiertje is sterk vergroot. De werkelijke grootte van het dier is 200-350 μm .

De onderdelen van het Pantoffeldiertje worden *organellen* genoemd. Ze vervullen bepaalde taken, nodig voor het functioneren van het organisme.

- || 1. Vul onderstaande tabel aan met de nummers van de bijpassende onderdelen van het Pantoffeldiertje, dat is afgebeeld in figuur 1.

Functie	Nr	Organel
voortplanting		kernen
voedselopname		celmond
voedselvertering		voedingsvacuole
verwijderen van ongebruikt voedsel		celanus
opname/afgifte van zuurstof/koolstofdioxide		celmembraan
voortbeweging		trilharen
uitscheiding van opgenomen water en afvalprodukten		contractiele (of kloppende) vacuole

De functies sluiten aan op wat wel de *levenskenmerken* van organismen worden genoemd: *voortplanting, stofwisseling, beweging, groei/herstel, waarneming/reageren op prikkels*.

Het Pantoffeldiertje leeft in zoetwater-milieus. Tussen het Pantoffeldiertje en zijn milieu is er een voortdurende waterbeweging: er wordt water opgenomen uit en afgegeven aan het omringende zoetwater-milieu. In het algemeen blijkt er meer water naar binnen te gaan, dan naar buiten: er dreigt 'intern' dus een overschot aan water. Om te voorkomen dat het Pantoffeldiertje te ver opzwellt, en zou barsten bezit het dier zgn. *contractiele (of kloppende) vacuoles*.

Contractiele vacuoles werken als een soort waterpomp: ze verzamelen het water dat in de cel wordt opgenomen en persen dit van tijd tot tijd weer naar buiten toe. Met behulp van contractiele vacuoles wordt de waterbalans van het eencellige dier geregeld: in de cel wordt de concentratie van de opgeloste stoffen constant gehouden.

Een contractiele vacuole wordt ook wel een 'hydrostatisch orgaan' genoemd (Fig 2).

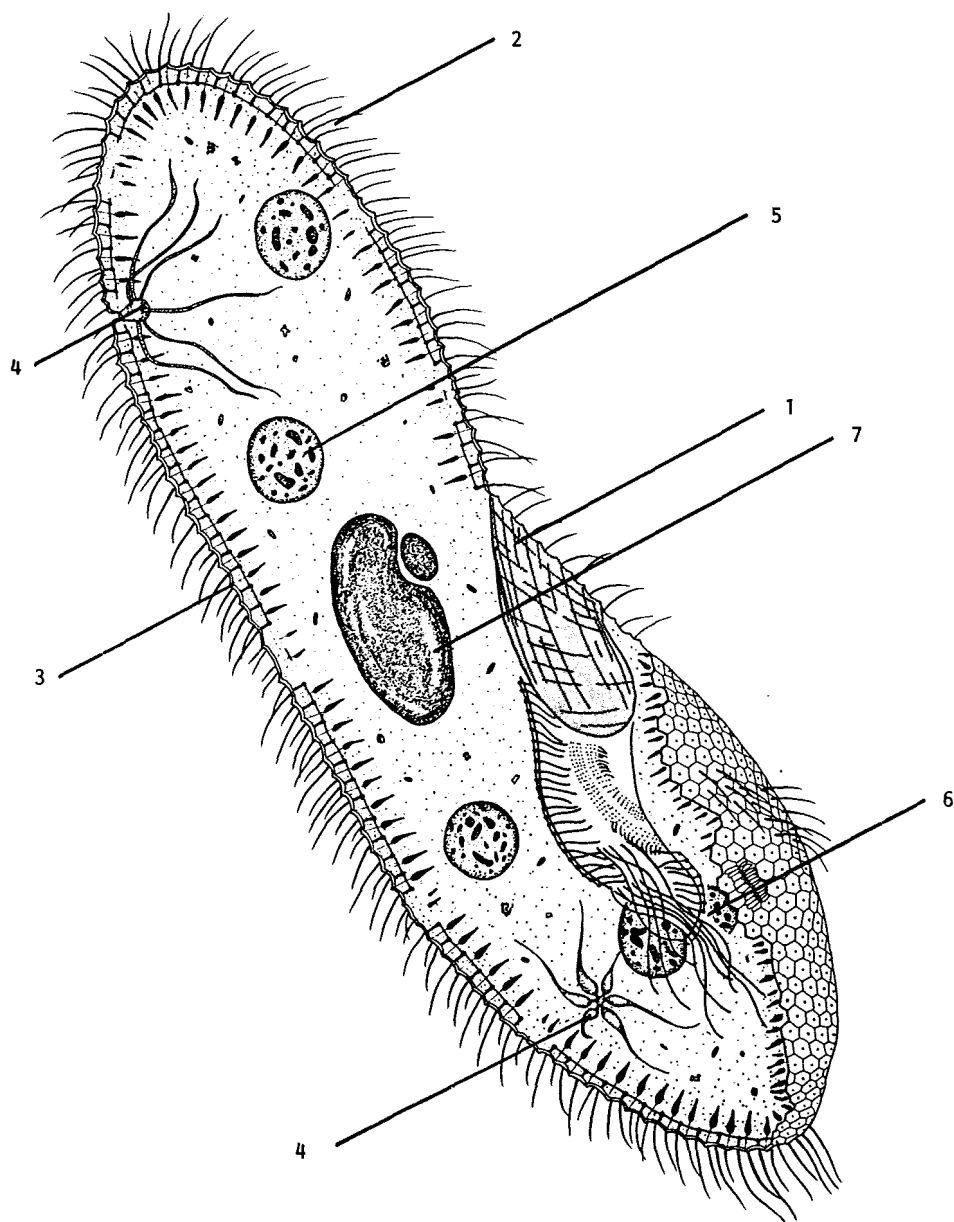


Fig. 1 Bouw Pantoffeldiertje (Paramecium).

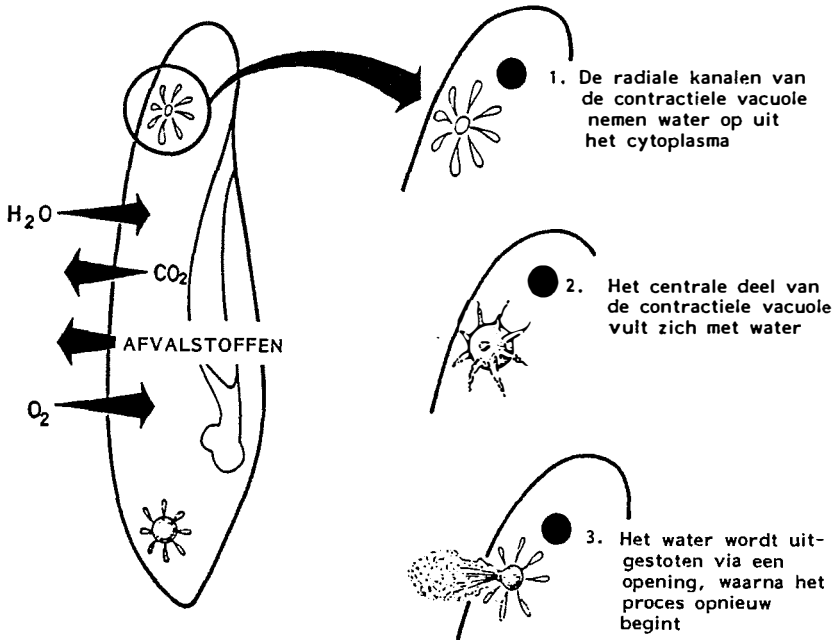


Fig. 2 Werking van de contractiele vacuole bij het Pantoffeldier (Paramecium).

Alle eencellige organismen leven in een waterig milieu, zoals vijvers, meren, rivieren, zee etc. De hele cel staat via de celmembraan (= buitenlaag van het organisme) in direct contact met de celomgeving: het waterig milieu. Dit contact met de celomgeving is onmisbaar voor het functioneren van de cel. Water fungeert hierbij als medium om diverse stoffen te transporteren.

Voor het overleven van de cel is het nodig dat de samenstelling van de interne celvloeistof (het cytoplasma) ongeveer gelijk blijft. De contractiele vacuole, die bij veel eencelligen voorkomt, heeft een functie bij de regeling hiervan. Uit onderzoek is gebleken dat (te) grote veranderingen in de samenstelling van het omringende waterige milieu problematisch zijn voor de cel: een cel kan alleen (over)leven bij kleine fluctuaties in dit milieu (in bijv. temperatuur, pH of chemische samenstelling).

EENCCELLIGEN zijn complete organismen: ze bezitten alle basiseigenschappen van een organisme.

Lees onderstaande tekst over eencelligen, en werk de vragen uit.

- || 2a. De meeste eencelligen die een contractiele vacuule hebben leven in zoet water.
Kun je dit verklaren?

Bij het bestuderen van contractiele vacuoles bij eencelligen is de theorie geopperd dat hun werking osmoregulatorisch is. De bioloog Kitching schrijft daarover in een artikel het volgende:

'Volgens deze theorie verwijdt de contractiele vacuule het water dat door de celmembraan -door osmose- naar binnen komt even snel weer naar buiten.

De werking kan vergeleken worden met die van een lenspomp op een lek schip. Het lijkt aannemelijk dat er een verband is tussen de mate van afgifte en de osmotische druk buiten de cel. Verwacht zou bijv. kunnen worden dat een concentratieverlaging buiten de cel wordt gecompenseerd door een toegenomen activiteit van de vacuole. Als het organisme de activiteit van de vacuole zo perfect zou kunnen regelen dat de interne osmotische druk op een constante waarde blijft, dan zou men een nagenoeg lineaire relatie verwachten tussen de hoeveelheid afgegeven water en de uitwendige concentratie. De werking van de vacuole zou dan tot stilstand komen als de concentratie buiten de cel op hetzelfde niveau zou zijn gekomen als de interne concentratie van het organisme.

Er is echter op voorhand geen reden om aan te nemen dat het organisme zijn interne concentratie zo perfect kan regelen.'

In fig.3 zijn de resultaten weergegeven van een ander onderzoek. Bestudeerd is de afgifte van de hoeveelheid water door contractiele vacuoles bij twee soorten eencelligen, die in zeewater met verschillende concentraties werden geplaatst.

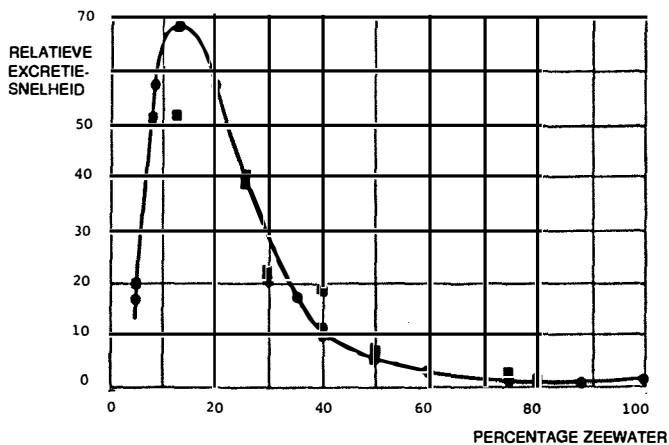


Fig. 3 De activiteit van de contractiele vacuole bij twee soorten eencelligen in verschillende concentraties zeewater.

- || 2b. In hoeverre ondersteunen deze resultaten de theorie dat de werking van de contractiele vacuole osmoregulatorisch is?
- || 2c. Geef een verklaring voor de terugval van de gemiddelde afgifte van water door de vacuole bij een zeewaterconcentratie van boven 15 procent.

§ 2 - DE WISSELWERKING TUSSEN ORGANISME EN OMGEVING

De in- en uitgaande waterstromen bij het Pantoffeldiertje zijn een voorbeeld van de voortdurende uitwisseling van *stoffen* tussen cel en celomgeving.

Andere voorbeelden zijn: de opname uit de celomgeving van voedingsstoffen, zuurstof enz., en de afgifte aan de celomgeving van afvalprodukten, zoals bijv. CO₂.

Deze bewegingen van stoffen tussen een organisme en zijn omgeving worden wel *stof- (of materie-)stromen genoemd*.

- || 1. *Figuur 4 is een sterk vereenvoudigde tekening van een eencellig organisme. Zet namen bij de pijlen om aan te geven welke stoffen de cel in en uit gaan.*

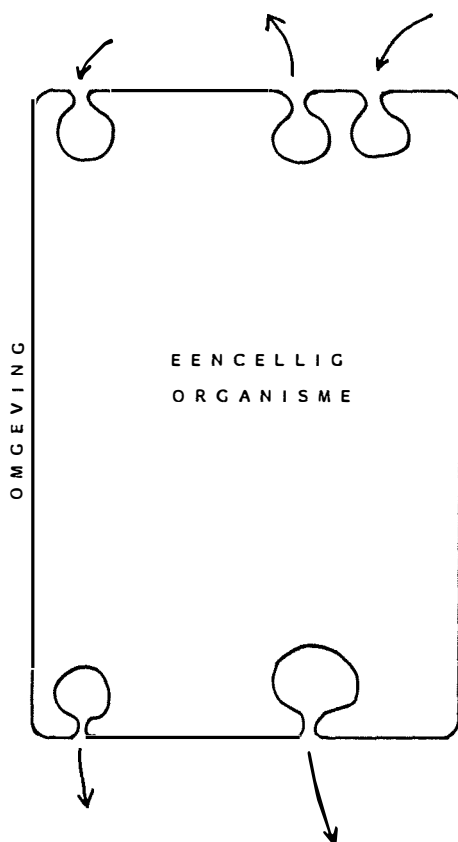


Fig. 4 Schema wisselwerking eencellig organisme met de omgeving: stofstromen.

§ 3 - EENCELIG - MEERCELLIG: EEN VERGELIJKING

Alle organismen die uit meer dan één cel bestaan noemen we 'meercellig'. Behalve in water komen meercelligen ook voor op het land (en in de lucht). De meeste meercellige organismen zijn opgebouwd uit een groot aantal cellen, waarbij verschillende celtypen en -groepen (weefsels) aanwezig zijn met verschillende deeltaken binnen het organisme. Daarnaast is het ook vaak zo dat voor het uitoefenen van een bepaalde functie meerdere organen samenwerken. Biologische trefwoorden hiervoor zijn: differentiatie en specialisatie.

Een meercellig dierlijk organisme is omgeven door een min of meer afschermd laag. Daardoor is er geen direct contact tussen de binnenste cellen van het organisme en de omringende omgeving. Voor de uitwisseling van stoffen tussen organisme en omgeving beschikt het organisme over gespecialiseerde weefsel-oppervlakken.

Voorbeelden: long-oppervlak ----> opname O_2 /afgifte CO_2
 darm-oppervlak ----> opname voedingsstoffen

- || 1. *Figuur 5 is een sterk vereenvoudigde tekening van een meercellig organisme. Vul de ontbrekende namen in bij onderdelen van het organisme, en geef bij de pijlen de stoffen aan die het organisme in en uit gaan.*

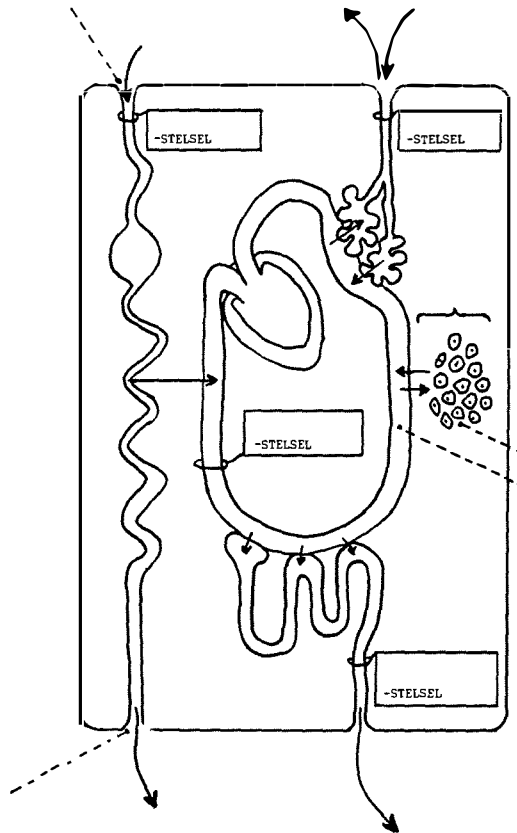


Fig. 5 Schema wisselwerking meercellig organisme met de omgeving.

De uitwisselingen die plaats vinden tussen het meercellig organisme en zijn omgeving zijn in principe dezelfde als bij een eencellig organisme ! Vergelijk figuur 4 en figuur 5.

Binnen het *meercellig* organisme zijn de cellen omringd door een waterige oplossing: de zgn. *weefselvloeistof*. Er is een directe wisselwerking tussen de cellen en de weefselvloeistof. Voor het in leven blijven van de cellen van het meercellig organisme is het nodig dat veranderingen in de samenstelling van de celomgeving heel beperkt van omvang blijven: al te grote veranderingen van o.a. temperatuur, pH en chemische samenstelling van de weefselvloeistof moeten worden voorkomen. Een belangrijke overeenkomst tussen eencellige en meercellige organismen is dus dat zowel de eencellige (vb. Pantoffeldiertje) als iedere afzonderlijke cel van het meercellig organisme een waterig milieu nodig heeft om in te leven.

Tussen EENCELLIGEN en MEERCELLIGEN bestaan -naast grote verschillen- ook belangrijke overeenkomsten.

In fig. 6 is een organisme getekend alsof het een cel is. De onderdelen zou je dan dus eigenlijk organellen moeten noemen !

- || 2a. Een overeenkomst tussen organen en organellen is dat ze vergelijkbare functies vervullen respectievelijk in een organisme en in een cel. Maak een lijstje van deze functies en noteer bij iedere functie door welke organen, resp. organellen ze worden uitgevoerd.
- 2b. Welk verschil is er tussen organen en organellen ?

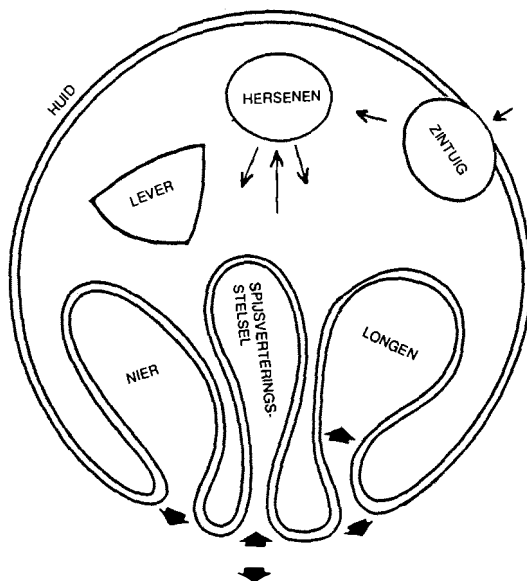


Fig. 6 Een meercellig organisme, getekend alsof het één cel is.

De cellen van een meercellig organisme hebben geen contractiele vacuole; hun waterbalans wordt kennelijk niet op die manier geregeld.

|| 3. *Op welke manier zou dit opgelost kunnen worden bij een meercellig organisme (fig.5) ?*

Bij sommige biologische onderzoeken worden afzonderlijke cellen van een meercellig organisme geïsoleerd en verder 'gekweekt' in speciale bakjes. Men spreekt dan ook wel van 'celkweek'.

|| 4. *In het algemeen lukt een celkweek alleen maar als de kweek 'in de watten gelegd wordt' (figuurlijk bedoeld !). Kun je dit verklaren ?*

§ 4 - REGULATIE IN BIOLOGISCHE SYSTEMEN

Een afzonderlijke cel en een meercellig organisme zijn voorbeelden van *biologische systemen*. Een biologisch systeem dat zichzelf in stand (=in leven) kan houden wordt gekenmerkt door onderdelen en processen die met elkaar samenhangen en samenwerken. Daarnaast is er een voortdurende wisselwerking tussen systeem en systeemomgeving.

Naast *stofstromen*, besproken in voorgaande paragrafen, zijn er ook *energiestromen* en *informatiestromen* tussen systeem en systeemomgeving.

Voor het voortbestaan (= in leven blijven) van het systeem is het noodzakelijk dat de uitwisseling tussen systeem en systeemomgeving, en de verwerking van stoffen, energie en informatie door en in het levende systeem niet 'zomaar' plaats vindt, maar verloopt volgens bepaalde 'regels': ieder biologisch systeem kent *regulatie*. Een voorbeeld is de regulatie van de interne waterhoeveelheid van het Pantoffeldiertje waarbij de contractiele vacuole een belangrijke rol speelt.

Regulatie berust voor een groot deel op informatiestromen: er worden voortdurend 'berichten' binnen en tussen systemen uitgewisseld.

Regulatie wordt ook wel systeemcontrole genoemd. Regulatieprocessen zijn essentieel voor het in stand houden van een levend systeem.

|| 1. *Het meercellige organisme van fig. 5 is opgebouwd uit cellen. Anders gezegd het systeem organisme is samengesteld uit een groot aantal andere systemen: cellen. Ieder levend systeem heeft een systeemomgeving. In figuur 5 kun je dan ook twee systeemomgevingen aanwijzen. Geef in fig. 5 aan waar Systeemomgeving 1 en Systeemomgeving 2 zich bevinden. Noem van beide systeemomgevingen enkele eigenschappen.*

Bij hoger ontwikkelde meercellige dieren (bijv. gewervelden) worden de weefselvloeistof die de cellen omringt en het bloed ongeveer gelijk van samenstelling gehouden: regulatieprocessen houden de fysische en chemische eigenschappen van de lichaamsvloeistof en bloed constant.

Bloed en weefselvloeistof samen wordt wel het 'milieu intérieur' van het organisme genoemd. Bij veel dieren is er dus -ondanks grote schommelingen in het omringende milieu- sprake van een constant 'milieu intérieur'.

|| 2. *Vul figuur 5 aan met het begrip 'milieu intérieur'. Is een afzonderlijke cel van een meercellig organisme meer of minder gevoelig voor invloeden van buitenaf dan een eencellig organisme ? Verklaar dit.*

Het begrip 'milieu intérieur' is afkomstig van Claude Bernard, een beroemd medisch-bioloog en onderzoeker. Hij formuleerde rond 1870 de volgende stelling:

'La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre'. Daarmee wilde hij zeggen dat vrij leven (van organismen) alleen mogelijk is door de aanwezigheid van een constant intern milieu.

- || 3. *Probeer te omschrijven wat met de term 'vrij leven' precies bedoeld wordt. Betekent 'vrij leven' hetzelfde voor een Pantoffeldierje als voor een mens. Kun je het verschil omschrijven ?*

§ 5 - ORGANISME EN TEMPERATUUR

In deze paragraaf besteden we aandacht aan een van de *energiestromen*: de warmtestroom. In voorgaande paragrafen kwam aan de orde dat het -bij bepaalde diergroepen- voor het overleven van de cellen van een meercellig organisme noodzakelijk is dat o.a. de temperatuur van het celomringend milieu ongeveer gelijk blijft.

Laten we eens verkennen welke 'problemen' daarbij een rol kunnen spelen.

Bekijk eerst figuur 7.

De verschillende pijlen geven aan welke warmtestromen er zijn tussen dit dier en zijn omgeving.

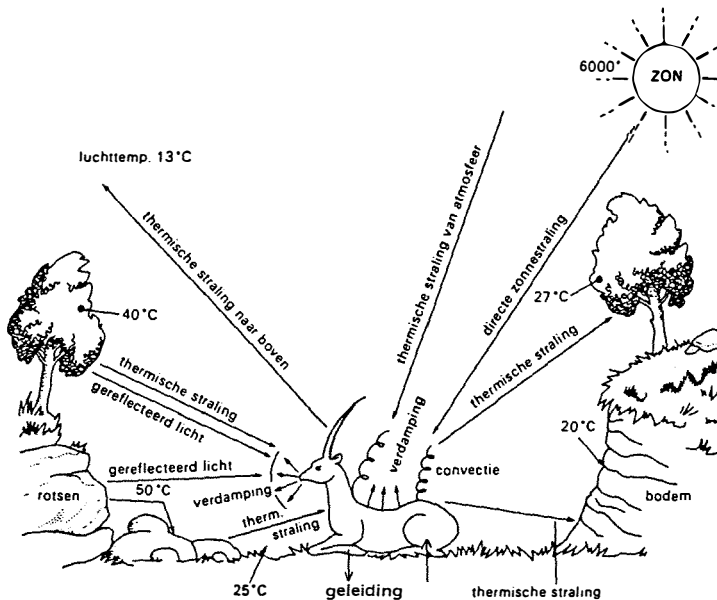


Fig. 7 Warmtestromen tussen een dier en zijn omgeving

- || 1. *Maak een overzicht van invloeden van buitenaf en van binnenuit die van belang zijn voor de lichaamstemperatuur van dit dier.*
- || 2. *Omschrijf een aantal mogelijke problemen die een dier met zijn lichaamstemperatuur zou kunnen hebben*
- *in een zeer heet klimaat .*
 - *in een zeer koud klimaat .*

Een van de kenmerken van een levend organisme is dat er continu activiteit is. Nauwkeuriger gezegd: in cellen wordt voortdurend gewerkt met stoffen, energie en informatie. Dit betekent oa. dat er allerlei omzettingen van stoffen en energie plaatsvinden. Bij een dier dat actief is (arbeid verricht) kunnen we ons dat makkelijk voorstellen. Denk bijv. aan lopen, klimmen etc. Maar ook bij 'rustende' dieren is er activiteit. Voorbeelden hiervan zijn: ademhalingsbewegingen, hartslag etc.

De processen waarbij stofomzettingen plaats vinden worden met een verzamelterm *stofwisseling (of metabolisme) genoemd.*

Bij dieren is de energie, die bij de stofwisseling vrijkomt of wordt verbruikt, afkomstig uit het voedsel.

De met het voedsel opgenomen energie wordt

- gebruikt om arbeid te verrichten,
- vastgelegd in reserves,
- omgezet in warmte.

§ 6 - HET ORGANISME ALS WARMTECENTRALE.

Als gevolg van de continue activiteit van de cellen is er dus ook in rusttoestand sprake van warmteproductie door het organisme. Als we kijken naar de wisselwerking van een organisme met zijn omgeving, betekent dit dat er warmte door het organisme aan de omgeving wordt afgegeven of warmte uit de omgeving wordt opgenomen. De richting waarin de warmtestroom gaat wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen organisme en omgeving.

Het doel van de volgende opdracht is om precies op een rijtje te zetten wat er gebeurt als de warmteproductie in het menselijk lichaam wordt vergroot.

Lees de volgende tekst en werk de vragen uit.

Sportmensen laten zich regelmatig keuren door een sportarts.

De bedoeling van zo'n keuringsonderzoek is om vast te stellen of de belangrijkste lichaamsfuncties in orde zijn.

Hierna wordt beschreven hoe bij atleet A. dit onderzoek verloopt, en welke gegevens dit oplevert.

Het onderzoek begint met het bepalen van de hartfrequentie, ademhalingsfrequentie en lichaamstemperatuur in rusttoestand.

Voorafgaand aan deze metingen heeft A. 15 minuten rustig in een stoel gezeten.

De volgende gegevens worden geregistreerd: hartslag 60 slagen per minuut, ademhaling 15 x per minuut, lichaamstemperatuur 37,1°C.

Vervolgens moet A. 500 meter hardlopen.

Onmiddellijk hierna worden hartslag, ademhalingsfrequentie en lichaamstemperatuur opnieuw gemeten.

Dit levert de volgende gegevens op: hartslag 115 x per minuut, ademhaling 40 x per minuut, lichaamstemperatuur 37,2°C.

Tevens ziet A. vuurrood en zweet hevig.

A. gaat daarna 15 minuten rustig zitten.

De gegevens, die daarna worden gemeten zijn: hartslag 62 slagen per minuut, ademhaling 16 x per minuut, lichaamstemperatuur 37,0°C.

Na afloop van het onderzoek drinkt A. water om zijn dorst te lessen.

Tijdens het hele onderzoek worden verder continu gegevens over de precieze hartwerking verzameld, en mbv. een computer geanalyseerd.

Aan het eind van de keuring trekt de sportarts de conclusie dat de belangrijkste lichaamsfuncties van A. in orde zijn.

Kun je verklaren waardoor het komt dat

- || 1. *de atleet gaat zweten en dorst krijgt ?*
- || 2. *ademhalingsfrequentie en hartfrequentie veranderen ?*
- || 3. *de lichaamstemperatuur vrijwel niet verandert ?*
- || 4. *Probeer nu ook een schema te maken waarmee je kunt laten zien hoe het volgens jou komt dat de lichaamstemperatuur vrijwel niet verandert.*

§ 7 - HET TEMPERATUURREGULATIESYSTEEM BIJ DE MENS

In de biologie en geneeskunde is uitvoerig onderzocht hoe de temperatuurregeling verloopt. Het is een ingewikkeld proces, waarvan de hoofdlijnen als volgt zijn.

In het menselijk lichaam is een soort apparaat ingebouwd dat er voor zorgt dat de lichaamstemperatuur ongeveer gelijk (dwz. rond 37°C) blijft: het *temperatuurregulatie-systeem*.

Daarbij moeten twee problemen worden opgelost:

1. Op bepaalde momenten moet er voor worden gezorgd dat de opwarming van het lichaam binnen de perken blijft. Deze opwarming gebeurt door de voortdurende eigen warmteproductie in het lichaam (stofwisselingsprocessen), en wordt soms versterkt door een hoge omgevingstemperatuur.
2. Op andere momenten moet er voor worden gezorgd dat de afkoeling van het lichaam binnen de perken blijft. Deze afkoeling zal bijvoorbeeld optreden bij een lage omgevingstemperatuur.

Het *temperatuurregulatie-systeem* bestaat uit de volgende onderdelen:

Sensoren: zintuigen, die gevoelig zijn voor veranderingen in temperatuur. Sensoren zitten zowel binnenin, als aan de buitenkant van het lichaam, dus in de huid. Er zijn twee typen sensoren: *warmtezintuigen* en *koudezintuigen*.

Het temperatuurregulatie-centrum: dit werkt als thermostaat. Het constant blijven van de lichaamstemperatuur wordt van hieruit bewaakt. Het temperatuurregulatie-centrum bevindt zich in de hersenen, in een gedeelte aangeduid als de *hypothalamus*. Hier worden berichten vanuit de sensoren opgevangen, vergeleken met de *normwaarde* en zonodig verwerkt tot opdrachten aan de effectoren. De belangrijkste berichten worden geleverd door de sensoren die binnenin het lichaam zitten: zij meten de zgn. *kerntemperatuur*. De kerntemperatuur wordt zeer nauwkeurig bewaakt.

De normwaarde wordt ook wel *set-point* genoemd en ligt (bij mensen) rond 37°C.

Het temperatuurregulatie-centrum bestaat uit twee delen:

- een '*opwarm-sector*': van hieruit worden opdrachten gegeven die moeten leiden tot *temperatuurstijging*, en
- een '*afkoel-sector*': opdrachten die hier vandaan worden gegeven moeten leiden tot *temperatuurdaling*.

Effectoren: de onderdelen van het systeem die de opdrachten uitvoeren die tot *verhoging* of *verlaging* van lichaamstemperatuur moeten leiden.

Verhoging van de lichaamstemperatuur vindt plaats door:

- een verhoogde warmteproductie als gevolg van verhoging van stofwisseling, spieractiviteit ed. Voorbeeld: rillen.
- een vermindering van warmteverlies via de huid door het vernauwen van huidbloedvaten (bleek zien).

Verlaging van de lichaamstemperatuur kan worden bereikt door:

- een vergroting van warmteafgifte via de huid door het verwijden van huidbloedvaten (rood zien),
- transpireren: voor verdamping van water vanaf de huid is warmte nodig, die aan het lichaam wordt onttrokken.
- een vermindering van warmteproductie: verlaging van stofwisselingsactiviteiten.

In figuur 8 is schematisch weergegeven hoe de warmteregulatie verloopt. De pijlen stellen de berichten voor die tussen de onderdelen van het temperatuurregulatiesysteem worden doorgegeven.

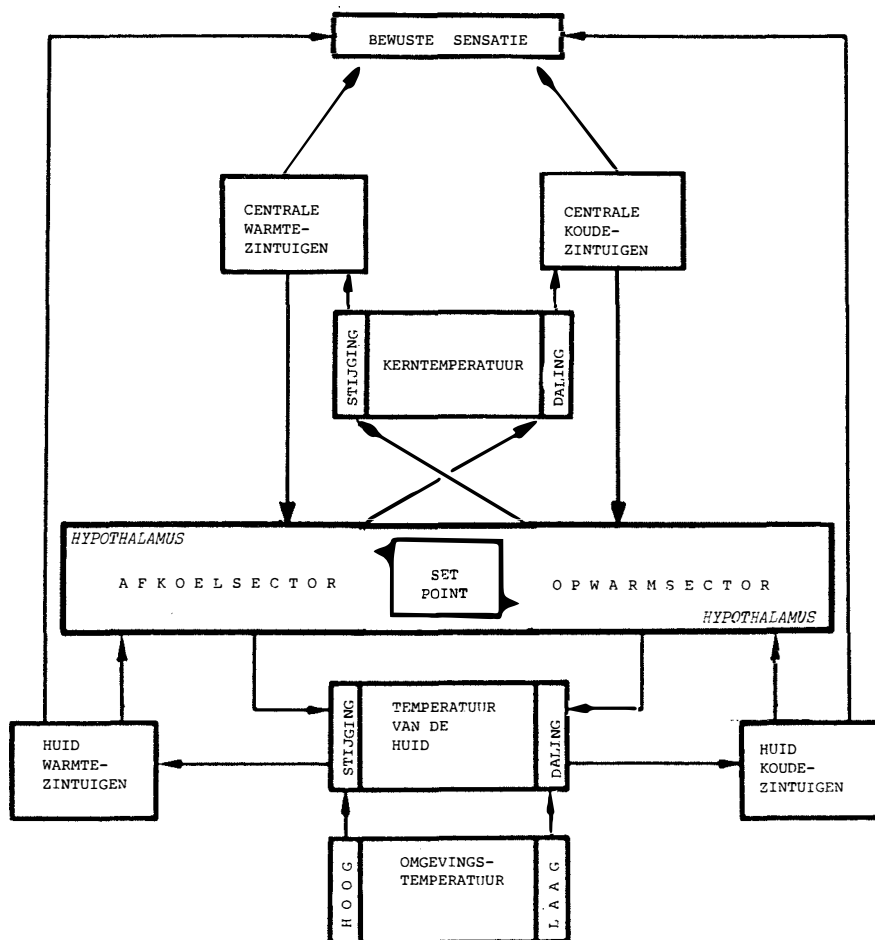


Fig. 8 Schema van de relaties tussen bloed- en omgevingstemperaturen en de onderdelen van het temperatuurregulatiesysteem. De pijlen stellen besturingswegen / berichten voor.

Behalve de maatregelen, die vanuit het temperatuurregulatie-centrum als het ware *automatisch* worden genomen, neemt de mens ook *bewuste gedragsmaatregelen* om stijging of daling van de lichaamstemperatuur tegen te gaan.

Realiseer je wel dat ook deze bewust genomen maatregelen volgen op berichten die zijn opgevangen door onze warmte- of koude-sensoren !

§ 8 - TE VEEL WARMTE ?

In deze paragraaf proberen we er achter te komen wat koorts is.

- || 1. *Bedenk voor je verder gaat eerst een eigen definitie van koorts, en probeer ook te omschrijven waardoor koorts wordt veroorzaakt.*

Bestudeer onderstaande tekst waarin het ziekteverloop bij persoon P. wordt beschreven.

Bij thuiskomst van zijn werk voelt P. zich niet lekker: hij ziet bleek, heeft koude rillingen en besluit naar bed te gaan.

De volgende ochtend voelt hij zich echt ziek. De temperatuur wordt opgenomen: P. heeft een temperatuur van 38°C. In de loop van de dag loopt de temperatuur verder op. De geraadpleegde huisarts vindt het niet nodig dat P. medicijnen neemt.

De erop volgende nacht heeft P. hoge koorts: plm. 40°C.

Gedurende het hele ziekteverloop ziet P. zeer bleek en heeft koude rillingen, dit ondanks de hoge koorts.

Aan het eind van de tweede nacht treedt plotseling een grote verandering op: het lijkt wel of bij P. de vlammen eruit slaan: hij gaat hevig transpireren en wordt vuurrood.

In de erop volgende uren daalt de temperatuur sterk, en bereikt in de loop van de volgende dag weer een waarde van 37°C.

In figuur 9 is het temperatuurverloop afgebeeld.

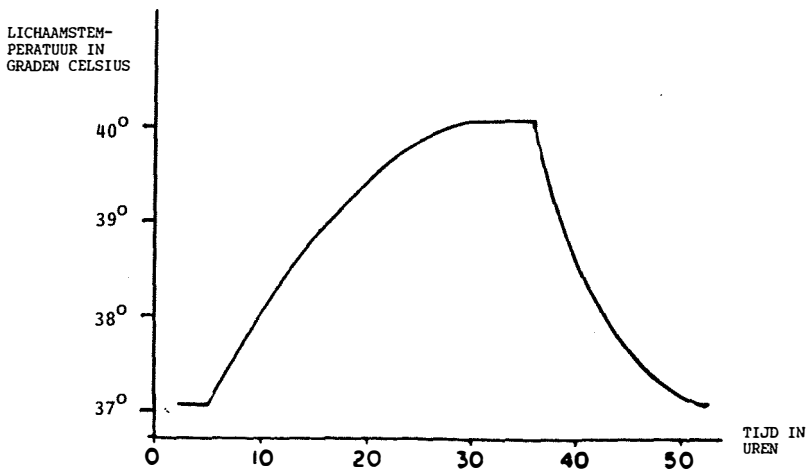


Fig. 9 Temperatuurverloop tijdens ziekte persoon P.

- || 2. *Wat gebeurt er precies en welke functie heeft het als P. tijdens het ziekteverloop*
 - a. *bleek wordt en koude rillingen krijgt*
 - b. *hevig transpireert*
 - c. *vuurrood wordt ?*
- || 3. *Bestudeer § 7 opnieuw, en probeer te bedenken hoe het temperatuurregulatiesysteem gefunctioneerd zou kunnen hebben tijdens het ziekteverloop.*
- || 4. *Kijk nog eens naar de definitie van koorts, die je bij vraag 1 hebt gegeven. Kun je deze definitie nu aanvullen, bijstellen, of veranderen ? Geef zonodig een nieuwe omschrijving.*

§ 9 - REGULATIETHEORIE: DE REGELKRING

De berichten die bij de regulatie van bijv. de lichaamstemperatuur worden opgevangen, doorgegeven en verwerkt zijn voorbeeld van een *informatiestroom*. Zonodig worden de berichten in bepaalde maatregelen omgezet. We hebben gezien dat hierbij *sensoren, regulatiecentrum en effectoren* betrokken zijn.

De weg van de informatiestroom kan sterk vereenvoudigd worden weergegeven met behulp van een zgn. *regelkringschema*, waarin bovengenoemde onderdelen voorkomen..

Regelkringschema's worden gebruikt om te volgen en te verklaren hoe een regulatie precies verloopt.

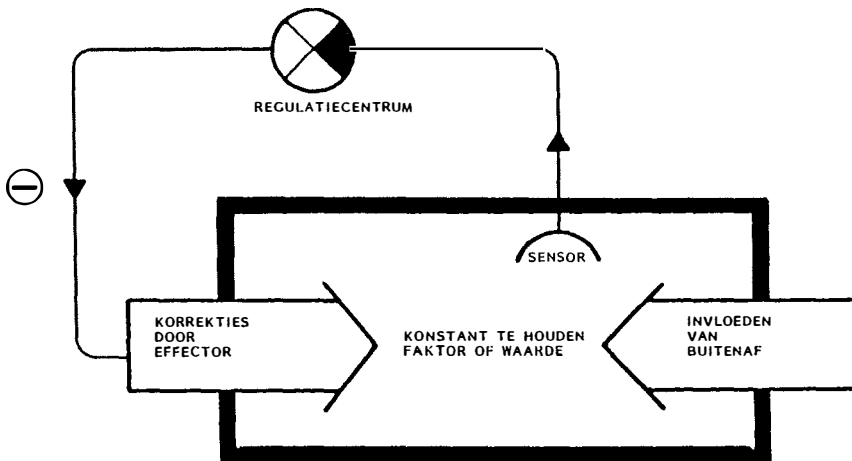


Fig. 10 Regelkringschema.

Bij de regulatie van de lichaamstemperatuur wordt in het regulatiecentrum voortdurend gecontroleerd of er in het lichaam temperatuurafwijkingen optreden, die moeten worden gecorrigeerd. Zonodig leidt dit tot maatregelen ('acties') van de effectoren die er voor zorgen dat de afwijking wordt gecorrigeerd.

De manier waarop deze regulatie verloopt wordt wel *negatieve feed-back of negatieve terugkoppeling* genoemd. De term 'negatief' wijst er op dat de actie er op gericht is om het tegengestelde (= 'negatieve') effect te bereiken. Bij veel biologische regulaties speelt negatieve terugkoppeling een belangrijke rol.

De temperatuurregulatie is een voorbeeld van een zeer geavanceerde biologische regulatie. Bij dit regulatietype is in het regulatiecentrum een *set-point ingebouwd*. Met behulp hiervan wordt een bepaalde factor van het systeem -in dit geval dus de temperatuur van het milieu interieur- zo nauwkeurig mogelijk op een bepaalde 'ingestelde' waarde gehouden.

Regulatie waarbij een in het systeem ingebouwd set-point functioneert wordt *homeostatische regulatie* genoemd.

Een homeostatische regulatie werkt via negatieve feed-back én een set-point.

De term *homeostase* is afkomstig van de Amerikaanse fysioloog Walter Cannon. Hij introduceerde het begrip rond 1930.

In de biologie wordt de term *homeostase* gebruikt om aan te geven dat er bij een organisme sprake is van een constante en evenwichtige situatie, als resultaat van een aantal homeostatische regulaties.

- || 1. *Bestudeer nog eens de werking van het temperatuurregulatiesysteem bij de mens (§ 7, fig. 8), en maak een regelkringschema van de temperatuurregulatie.*

- || 2. *Je zou kunnen zeggen dat Walter Cannon de ideeën van Claude Bernard verder heeft uitgewerkt. Probeer dit uit te leggen door het verband aan te geven tussen de begrippen 'milieu intérieur' en 'homeostase'.*

§ 10 - REGULATIE IN POPULATIES.

Na de biologische systemen *cel* en *organisme* bekijken we nu regulatie in het systeem *populatie*. De organismen van één soort die samenleven in een bepaald gebied noemt men een *populatie*. Voorbeelden: de kikkers in een bepaalde vijver, de zilvermeeuwen in een kolonie in de duinen, de heideplanten van een bepaald heideveld.

Een populatie heeft kenmerken gemeen met andere levende systemen:

- er is een wisselwerking tussen populatie en omgeving
- een populatie heeft een bepaalde structuur en omvang
- in een populatie spelen zich allerlei processen af en worden functies vervuld
- een populatie ontwikkelt zich en verandert
- in een populatie vindt regulatie plaats.

Een belangrijk kenmerk van een populatie is het binnenkomen en verdwijnen van individuen. Dit is te vergelijken met een organisme waar 'oude' cellen verdwijnen en nieuwe ontstaan.

Hoewel de individuen in een populatie steeds wisselen blijft de populatie als eenheid (systeem) voortbestaan. Individen komen een populatie binnen door *geboorte* of door *immigratie*. Individen verlaten de populatie door *dood* of *emigratie*.

Voor het voortbestaan van de populatie is de wisselwerking met de systeemomgeving een belangrijke factor: grote veranderingen in bijv. voedselaanbod of weersfactoren zullen invloed hebben op omvang en functioneren van de populatie.

In figuur 11 is de populatieomvang van twee populaties (haas en lynx) in een bepaald gebied in de V.S. weergegeven.

De twee curves vertonen een duidelijke overeenkomst, waarbij de ontwikkeling van de lynx-populatie kennelijk in de tijd wat achterloopt bij die van de haas.

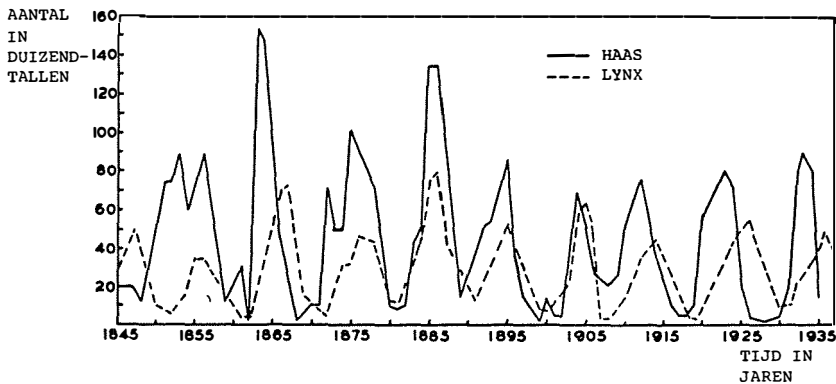


Fig. 11 Verloop van de populatieomvang bij haas en lynx.

Geef antwoorden met toelichting op volgende vragen.

- || 1. *Tussen het verloop van beide curves lijkt een verband te bestaan. Probeer een omschrijving van de wisselwerking tussen de twee populaties te geven waarbij je op een of andere manier het begrip 'regulatie' gebruikt.*
- || 2. *Kun je een regelkringschema maken van de regulatie van de hazenpopulatie?*
- || 3. *Is hier sprake van een homeostatische regulatie ?
Motiveer je antwoord.*
- || 4. *In de eerste zin van deze paragraaf staat dat een populatie een levend systeem is. Maar leeft een populatie eigenlijk wel ? Maak bij het beantwoorden van deze vraag gebruik van het lijstje van levenskenmerken uit § 1.*

§ 11 - BIJZONDER GEREDELDE POPULATIES

Bijen en mieren leven in populaties met een hoge organisatiegraad: in zo'n systeem zijn een aantal zaken heel precies geregeld. Deze populaties worden 'volk' genoemd: we spreken van bijenvolken en mierenvolken.

Bijen- en mierenvolken bewonen een vaste plaats: bijv. een bijenkorf of -kast, of een mierennest.

In de volgende tekst vind je een aantal bijzonderheden over de organisatie binnen een bijenvolk, en met name over temperatuurregulatie.

Professor Karl von Frisch schrijft: 'Verbazingwekkend is de gelijkmatige temperatuur van bijna precies 35 graden, die in het broednest van de bijenkorf heerst. Hier zitten de werkbijen bij duizenden aan de raten en de gezamenlijke warmteproductie is duidelijk voelbaar. Bij koel weer drommen ze dicht opeen op de broedcellen, die ze met hun lichaam bedekken als een verenbedje.

Op hete dagen gaan ze verder uit elkaar zitten en als de warmte toch te veel toeneemt, dragen ze water aan – want transpireren als mensen kunnen ze niet – verspreiden een dun laagje water over de raten en bevorderen de verdamping, waarbij dus warmte aan de raat wordt onttrokken, door met hun vleugels te waaiëren. Als kleine levende ventilatoren zitten ze over de raten verdeeld, spelen elkaar de te warme lucht toe en drijven deze door het vlieggat naar buiten. In de winter weten de bijen een gelijkmatige temperatuur van plus 18 graden in stand te houden, zelfs als er buiten een krakende vorst van 40 graden heerst.

Zonder overdrijven kan men dus zeggen: De bij is als afzonderlijk dier wisselwarm, maar in de gemeenschap van de staat hebben ze zich door een goed georganiseerde samenwerking ontwikkeld tot een 'warmbloedig' dier.

Een *individuele* bij is 'wisselwarm'.

Maar het *volk als geheel* is door een goed georganiseerde samenwerking in staat om de temperatuur van het systeem nauwkeurig te regelen.

Een ander voorbeeld van deze samenwerking is de taakverdeling tussen de individuen binnen de bijenstaat.

Op grond hiervan zijn er biologen die zo'n insectenvolk-als-geheel ook als een organisme beschouwen: het zgn. *superorganisme*.

- || 1. *Kun je punten van overeenkomst en punten van verschil formuleren tussen een 'gewoon' organisme en een superorganisme ? Werk aan de hand van het lijstje van levenskenmerken uit § 1.*

- || 2. *Maak een regelkringschema van de temperatuurregulatie in het bijenvolk ?*

- || 3. *Er zijn biologen die bij een bijenvolk spreken van 'sociale homeostase'. Wat vind je van deze omschrijving ?*

TOELICHTING VOOR DOCENTEN

1. Doel en doelgroep

Het leerlingenmateriaal 'Geregeld overleven' is opgezet voor gebruik in een lessenserie in klas 5 of 6 VWO.

Het doel van het materiaal is om leerlingen vertrouwd te maken met een systeembenadering van levende systemen, en om vanuit dit perspectief principes van regulatie en homeostase in levende systemen te introduceren. Daarbij is gekozen voor de organisatieniveau's cel, organisme en populatie. Indien deze lessenserie wordt gegeven in het begin van het cursusjaar in 5 VWO kan op deze systeembenadering aangesloten en voortgebouwd bij de behandeling van andere thema's later in 5 en 6 VWO.

2. Vakinhoudelijke uitgangspunten

De thematiek van regulatie en homeostase wordt gezien als een van de centrale conceptgebieden in de biologie. Met regulatie en homeostase is een van de meest karakteristieke eigenschappen van het leven aangeduid: ontwikkeling en voortbestaan van het leven op aarde was en is mogelijk door het vermogen tot zelfhandhaving van organismen. Regulatie en homeostase vervult hierbij een essentiële rol.

Om te komen tot keuzes, gericht op het leren en onderwijzen van de begrippen 'regulatie en homeostase', kiezen we een vakinhoudelijke referentiekader, waarbij regulatie en homeostase wordt geplaatst in het perspectief van leven en overleven van levende systemen. Dit wil zeggen dat regulatie en homeostase wordt gerelateerd aan en verklaard in functie van de wisselwerking van een systeem met zijn systeemomgeving.

De verbindende elementen voor de vakinhoudelijke invulling van het thema zijn als volgt gekozen:

RELATIES TUSSEN DE BEGRIPPEN LEVEND SYSTEEM - REGULATIE - HOMEOSTASE

1. Biologische eenheden zijn SYSTEMEN die worden gekenmerkt door

- BEING ('zijn') =====> structuur / bouw / vorm
- BEHAVING / ACTING ('doen', 'gedragen') =====> functie
- BECOMING ('worden', 'ontstaan') =====> ontwikkeling / groei / evolutie.

2. Er worden SYSTEEMNIVEAU'S onderscheiden, die hiërarchisch zijn geordend.

3. Levende systemen staan in wisselwerking met hun SYSTEEMOMGEVING, waarbij sprake is van continue stromen van STOF, ENERGIE, en INFORMATIE.

4. In levende systemen is sprake van 'organisatie' en 'ordering': structuur, functie en ontwikkeling zijn ahw. 'programmeestuurd'

Er is sprake van een 'beheerst' gedrag, onder meer door middel van het verzamelen en verwerken van informatie over dit gedrag.

In LEVENDE SYSTEMEN leidt dit tot STABILITEIT, cq. ZELFHANDHAVING.

5. REGULATIEPROCESSEN zijn van essentiële betekenis voor het in stand houden van een levend systeem.

6. Een HOMEOSTATISCHE REGULATIE is een geavanceerd biologisch regulatieproces, werkzaam via negatieve feed-back en een set-point, dat wordt aangetroffen op bepaalde systeemniveau's.

7. Met HOMEOSTASE wordt aangegeven dat er bij een organisme sprake is van een constante en evenwichtige situatie, als resultaat van een aantal homeostatische regulaties.

3. Vakdidactische uitgangspunten

De hiervoor vermelde vakinhoudelijke uitgangspunten geven een globaal beeld van de beoogde cognitieve vakdoelen. Van leerlingen wordt verwacht dat zij aan het eind van de lessenreeks kennis hebben van regulatie- en homeostaseprocessen, en inzicht hebben in het belang van deze processen voor levende systemen.

Naast deze vakinhoudelijke uitgangspunten liggen aan de samenstelling van dit lesmateriaal een aantal didactische overwegingen en keuzes ten grondslag. Zo is er bij het opzetten van het lesmateriaal van uitgegaan dat de bij leerlingen aanwezige kennis en denkbeelden belangrijke factoren zijn in leerprocessen, en dat deze denkbeelden kunnen dienen als aangrijpingspunt voor begripsontwikkeling. Deze visie op het proces van leren en onderwijzen wordt wel aangeduid als 'constructivistisch'.

In de vormgeving van een aantal opdrachten komt dit idee tot uiting. Deze starten met het in beeld brengen van bij de individuele leerling aanwezige kennis en denkbeelden.

Een volgende stap is dat leerlingen samen verder werken aan de opdrachten. Hierbij worden individuele ideeën en oplossingen uitgewisseld, en wordt gezocht naar gezamenlijke antwoorden. Een aantal opdrachten zodanig opgezet dat -na de individuele uitwerking van de opdracht- leerlingen met elkaar in groepjes aan het werk kunnen om samen via gesprek en discussie ('onderhandeling') tot gezamenlijke antwoorden op de opdrachten te komen.

Indien de docent het materiaal gaat gebruiken op deze wijze, komt de nadruk aanvankelijk veel meer te liggen op proces en procedure van kennisvorming, dan op het produkt van kennis, dwz. de 'goede' antwoorden en oplossingen op vragen en opdrachten. Dit vraagt vaak van docent én leerlingen een andere opstelling. Voor 'onjuiste' denkbeelden, denkwijzen en oplossingen wordt nu juist meer tijd ingeruimd, en wordt door docent en leerlingen samen gezocht naar de meest valide verklaringen en antwoorden.

In de paragrafen over warmteproductie en -regulatie in het menselijk lichaam is vanuit nog een andere overweging een verbinding gelegd met eigen kennis en ervaringen van leerlingen. Het betreft hier een thematiek die nauw verbonden is eigen gezondheid(servaringen) van de leerling. De zin en het belang van het leren van deze vakinhoud wordt hier mede bepaald door deze persoonlijke dimensie.

Er is naar gestreefd om het materiaal zo op te zetten dat het in ieder geval bruikbaar is in de door de docent(e) beoogde onderwijs-leersituatie. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld ook voor een meer klassikale (en daarmee 'snellere') behandeling kan worden gekozen.

De docent(e) zal de laatste afrondende stap naar de uiteindelijke vormgeving van zijn/haar lessenreeks moeten zetten !

4. Globale inhoud van het lesmateriaal

Vanuit een eerste oriëntatie op een eencellig organisme wordt het wisselwerkingsconcept geïntroduceerd, wat vervolgens wordt verkend en uitgewerkt bij een (hoog ontwikkeld) meercellig dier.

Vervolgens wordt een aantal generalisaties geformuleerd, en wordt gehanteerde kijk- en benaderingswijze geëxpliciteerd en toegelicht. Er wordt een koppeling gelegd met het zelfhandhavend vermogen van levende systemen.

Vervolgens wordt -aan de hand van het voorbeeld van temperatuurregulatie- precies verkend hoe bij een hoger ontwikkeld dier de regulatie van een van de aspecten van het milieu intérieur verloopt. De principes van homeostatische regulatie worden samengevat, en in verband gebracht met het zelfhandhavend vermogen van levende systemen. Hier kan worden ingegaan op de meer of mindere mate van onafhankelijkheid van het systeem tov. de systeemomgeving.

Tenslotte wordt de gekozen benaderingswijze toegepast op het systeemniveau populatie. Ook hier komen systeemkenmerken, wisselwerking systeem-systeemomgeving en regulatie aan de orde.

5. Toelichting en suggesties per paragraaf

De volgende suggesties zijn mede gebaseerd op de ervaringen die bij het gebruik van het materiaal door vier verschillende docenten en klassen 5 VWO zijn opgedaan.

§ 1 - EENCCELLIGEN: HET PANTOFFELDIERTJE IN ZIJN MILIEU

Doel en inhoud

Aan de hand van deze paragraaf maken leerlingen (voor het eerst of opnieuw) kennis met een eencellig organisme, waarbij het accent aanvankelijk ligt op bouw en functie.

Vervolgens wordt ingegaan op het functioneren van een eencellige, met name op de relatie met van het organisme met zijn waterig milieu.

Invalshoek daarbij is de noodzaak voor het organisme om de samenstelling van het cytoplasma constant te houden. De rol van de contractiele vacuule staat hierbij centraal.

Aan de hand van een opdracht, gebaseerd op een bestaand onderzoeksartikel, wordt de werking van de contractiele vacuule nader verkend.

Uitvoering

De verwerking van deze paragraaf kan goed gecombineerd worden met een praktikum over *Paramecium*. Op het beschrijvende en het experimentele gedeelte van de paragraaf kan goed worden aangesloten met resp. een beschrijvend/observatiepraktikum en een experimenteel praktikum.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. De onderdelen van het Pantoffeldiertje, die zijn genummerd in fig. 1, moeten gekoppeld worden aan functies en structuren, vermeld in de tabel.

De volgorde moet zijn: 7, 1, 5, 6, 3, 2, 4.

Zie kopieerblad, bijlage 1.

2a. De functie van contractiele vacuoles is het verwijderen van een overschot aan water, opgenomen uit de omgeving. Door osmotisch transport wordt door zoetwater-eencelligen water opgenomen uit een zoetwater-omgeving.

Zeewater-eencelligen zullen in het algemeen isotonisch zijn, of juist bloot staan aan wateronttrekking door het omringende zoute water.

2b. Een belangrijk gegeven is dat het hier gaat om eencelligen die de zee als hun natuurlijk milieu hebben (*Zoothamnium* en *Cothurnia spec.*). Voorts is het zorgvuldig lezen en interpreteren van de grafiek een essentiële stap bij het uitvoeren van deze opdracht. Zo is op de x-as aangegeven het percentage zeewater, wat impliceert dat hier sprake is van een verdunningsreeks van zeewater, en dat 100 % betekent: zuiver zeewater, cq. $\approx 3,5\%$ NaCl.

Wat opvalt is dat bij een zeewater-percentages van 60-100 % er slechts een zeer beperkte (verhoogde) activiteit van de contractiele vacuole is gemeten. Dit kan er op wijzen dat er bij deze concentraties nog maar een beperkte opname van water uit de omgeving plaats vindt. De sterke toename van activiteit van de contractiele vacuole in het traject tussen 40 en 20 % vertoont een lineair verband met de afnemende concentratie van het zeewater. Hier vindt als tegenwicht voor de grotere wateropname een sterk verhoogde uitscheiding plaats. Dit ondersteunt de geformuleerde hypothese: de activiteit van de contractiele vacuole neemt toe bij een vergroting van concentratieverschillen tussen celinhoud en omgeving. Er is een rechtstreeks verband zichtbaar tussen een vergrote opname van water en een verhoogde activiteit van de contractiele vacuole, wat wijst op een osmoregulatorisch proces.

2c. Als verklaring voor de sterke terugval in activiteit van de contractiele vacuole (linker deel van de grafiek) lijkt aannemelijk dat de eencelligen het hier niet meer kunnen bolwerken: de uitscheiding van water blijft achter bij de opname, de eencellige kan niet meer functioneren, gaat dood.

§ 2 - DE WISSELWERKING TUSSEN ORGANISME EN OMGEVING

Doel en opzet

Deze paragraaf bespreekt het principe van de wisselwerking van het organisme met zijn omgeving, waarbij de stof (of materie-) stromen als voorbeeld zijn genomen.

Het gebruik van een eenvoudig systeem-model (fig. 4) is erop gericht om een modelmatige manier van kijken naar levende systemen te introduceren, waarbij de begrippen als systeem en systeem-omgeving aan de orde komen. Functies die bij het bestuderen van het Pantoffeldiertje aan de orde kwamen (het 'lijstje' uit § 1) kunnen hier nogmaals de revue passeren.

Het gebruikte modelschema wordt ook in de volgende paragraaf toegepast.

Uitvoering

De aanzet tot het invullen van de figuur kan plaatsvinden door een vergelijking te (laten) maken met de in-en uitgaande stoffen bij Paramecium. Het invullen van de figuur zal weinig problemen en/of discussie opleveren, de docent zal bij voorkeur rechtstreeks, met bijdragen uit de klas kunnen overgaan tot invulling van de figuur.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. De volgende stoffen moeten worden ingevuld:

boven v.l.n.r.: water + voedingsstoffen, CO₂, O₂

onder v.l.n.r.: ongebruikte stoffen, water + afvalstoffen

Zie kopieerblad, bijlage 2 & 3.

§ 3 - EENCELLIG - MEERCELLIG: EEN VERGELIJKING

Inhoud en opzet

In deze paragraaf wordt het principe van wisselwerking uitgewerkt voor een meercellig hoger organisme ('vertebraat-type'). In een bouwplan-schema van dit organisme zijn de belangrijkste onderdelen en stelsels opgenomen, die betrokken zijn bij deze wisselwerking. Door het gebruik van een schema dat naar grondvorm identiek is met het schema van de eencellige (fig. 5), wordt benadrukt dat de in- en uitgaande stoffen in principe dezelfde zijn.

In de tekst op pag.8 wordt vervolgens aangegeven dat ook de cellen van een meercellig organisme in een waterig milieu leven, overeenkomstig de situatie bij eencelligen.

In de opdrachten aan het einde van de paragraaf wordt deze parallel uitgewerkt.

Uitvoering

Voorafgaand aan een klassikale bespreking van opdracht 1, dwz. de invulling van fig. 5, kunnen leerlingen individueel en/of in groepen een lijstje met in te vullen namen opstellen. Deze ideeën kunnen vervolgens bij een klassikale invulling worden besproken en gebruikt.

Ditselfde geldt voor de opdrachten 2, 3 en 4. Ook hier is het stimuleren van het denken over deze vraagstukken minstens zo belangrijk als de te geven 'goede' antwoorden.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. Zie kopieerblad, bijlage 4 & 5.

2. De bedoeling is dat hier opnieuw het lijstje van functies / levenskenmerken uit § 1, opdracht 1 wordt gehanteerd, nu met kolommen voor organellen en organen.

De tabel gaat er dan als volgt uit te zien:

functie	cel/organel	organisme/orgaan
voortplanting	kernen	geslachtsorganen
voedselopname	celmond	mond/slok darm
voedselvertering	voedingsvacuole	maag/darm
verwijderen van ongebruikt voedsel	celanus	endeldarm/anus
opname/afgifte van zuurstof/koolstofdioxide	celmembraan	longen
voortbeweging	trilharen	poten/vleugels
uitscheiding water en afvalprodukten	contractiele vacuole	nieren

3. Bij deze vraag zouden leerlingen eerst eigen kennis of ideeën over oplossingen van dit probleem kunnen inbrengen. Met name het problematiseringsaspect is van belang: deze opdracht is er op gericht dat leerlingen zich gaan realiseren dat het voor het overleven van de cellen van een meercellig organisme noodzakelijk is dat de veranderingen in de celomgeving beperkt gehouden moeten worden. De vraag is een aanzet voor de volgende regulatieparagraaf.

4. Deze opdracht ligt in het verlengde van de vorige. Het antwoord moet zijn dat voor het in leven houden van de cellen het absoluut nodig is dat celomringend milieu heel precies constant gehouden wordt. Dit vereist heel speciale maatregelen !

§ 4 - REGULATIE IN BIOLOGISCHE SYSTEMEN

Doel en opzet

In deze paragraaf wordt regulatie niet benaderd als verschijnsel, maar als een functie in en ten dienste van een levend systeem. Het begrip 'milieu intérieur' wordt geïntroduceerd.

In de visionaire uitspraak van Claude Bernard wordt een verbinding gelegd tussen het 'milieu intérieur' en het vermogen van (hogere) organismen om zich meer of minder vrij (onafhankelijk) van hun omgeving te 'gedragen'. Opmerkelijk is dat de stelling van Bernard vanaf het moment dat deze werd geformuleerd (ca. 1854) nooit is bestreden of geamendeerd, maar steeds verder is onderbouwd met empirische gegevens en bewijzen voor de juistheid ervan !

Uitvoering

De inhoud van deze paragraaf kan aan de orde komen via uitwerking en bespreking van de opdrachten.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. De weefselvloeistof en cellen samen vormen Systeemomgeving 1, rondom het organisme bevindt zich Systeemomgeving 2.

Eigenschappen die genoemd kunnen worden:

Systeemomgeving 1 is constant van samenstelling, de eigenschappen van Systeemomgeving 2 kunnen (sterk) wisselen; Systeemomgeving 1 bestaat uit een waterig milieu, terwijl Systeemomgeving zowel gasvormig (lucht) als vloeistof kan zijn. (Aardige vervolgvraag: is 'vaste stof' als systeemomgeving mogelijk?)

Ook is er geen direct contact tussen Systeemomgeving 1 en 2.

2. Bloed en weefselvloeistof vormen samen het milieu intérieur.

3. Bedoeld is een omschrijving waarin tot uitdrukking komt dat het organisme min of meer onafhankelijk is van de omgeving. Eventueel kan ingegaan worden op de (positieve ? negatieve?) gevolgen van deze menselijke 'onafhankelijkheid' van zijn omgeving, en het verschijnsel dat de mens diverse kunstmatige milieu's heeft gecreëerd.

Het 'vrij leven' van een Pantoffeldier is aan meer beperkingen onderhevig dan bij hogere organismen: zo kan een Pantoffeldier bijv. zijn waterig milieu niet verlaten.

§ 5 - ORGANISME EN TEMPERATUUR

Doel en opzet

Als voorbeeld van systeemcontrole is de warmteregulatie bij een meercellige hoger organisme (zoogdier, mens) gekozen.

In de eerste plaats vindt beeldvorming plaats over het aspect 'warmteproductie'. Dit is een voorwaarde om vervolgens te kunnen nadenken over de noodzaak (functie) van beheersing van de lichaamstemperatuur. Leerlingen realiseren zich meestal niet dat er -als gevolg van stofwisselingsprocessen- sprake is van een continue, eigen warmteproductie. Om deze reden wordt hier dan ook eerst de warmteproductie geïdentificeerd, zodat warmteregulatie in een functie-perspectief kan worden geplaatst.

Uitvoering

Via de Iln.-opdracht (bespreking in groepen, en vervolgens klassikaal) wordt eerst zichtbaar dat er sprake is van een continue warmteproductie ('basale metabolisme'), vervolgens komt het wisselwerkingsaspect met de systeemomgeving aan de orde: verschijnsel warmteopname / warmteafgifte.

Als kernprobleem wordt tenslotte geformuleerd dat het organisme kennelijk voor de taak staat om opwarming en afkoeling binnen bepaalde grenzen te houden, en daar kennelijk in slaagt: zie het 'milieu intérieur'.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. Doel van deze opdracht is dat de leerling zich realiseert dat er diverse warmtebronnen en -bewegingen zijn, als onderdeel van de wisselwerking tussen een organisme (in dit geval een dier) en zijn omgeving. Leerlingen kunnen gebruik maken van de figuur om enkele van die bronnen en bewegingen (in eigen woorden) te typeren. De figuur is daarbij bedoeld om ze op ideeën te brengen.

2. Bij deze opdracht gaat het er om dat de leerling zich bewust wordt van de door het organisme op te lossen problemen bij blootstelling aan extreme temperatuuromstandigheden. Het gaat er daarbij niet om dat leerlingen al met goede, sluitende formuleringen komen, maar veel meer dat in een vervolgesprek in de klas een gemeenschappelijke omschrijving van de problemen ontstaat.

Kern van deze probleemomschrijving is dat bij blootstelling aan extreem hoge of extreem lage buitentemperaturen het ongeveer gelijk blijven van de temperatuur van het celomringend milieu onder druk komt te staan, en er dus maatregelen, acties nodig zijn om dit te voorkomen.

§ 6 - HET ORGANISME ALS WARMTECENTRALE

Doel en opzet

Doel van deze paragraaf is om bij leerlingen aanwezige kennis en denkbeelden over het functioneren van (een onderdeel van) het eigen lichaam te activeren en mobiliseren.

Verschijselen, samenhangend met toename van de warmteproductie in het menselijk lichaam, moeten met elkaar in verband gebracht en verklaard worden.

De denkbeelden die leerlingen hierover hebben worden later weer gerelateerd en getoetst aan de gegevens in de volgende paragraaf.

Uitvoering

Van belang is dat leerlingen de opdrachten van deze paragraaf eerst individueel en zelfstandig uitwerken. Vervolgens kunnen leerlingen in gesprek met elkaar komen tot uitwisseling en vergelijking van hun ideeën. Eventueel kan aan dit groepswork de opdracht worden verbonden om een gezamenlijk antwoord op de vragen aan het eind van de paragraaf te formuleren. Het vervolg van de bespreking in groepen is een klassikale inventarisatie. Eventueel worden enkele leerlingen of groepen uitgenodigd om het gevraagde eigen regulatieschema te presenteren en toe te lichten.

Hierna breekt de fase van vergelijking met de informatie uit § 7 aan.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1., 2., 3. Bij deze opdrachten gaat het er om dat leerlingen -voorafgaand aan bestudering van § 7- met eigen verklaringen komen voor de beschreven verschijnselen. De bedoeling is dat de docent de belangrijkste opinies samenvat, om later te worden getoetst aan § 7. In denkbeelden van leerlingen op de proefscholen werd zeer frequent het idee aangetroffen, dat zweten de oorzaak is van een constante lichaamstemperatuur !

4. Hierbij is een toelichting door de docent vooraf gewenst. Benadruk dat het ook hier gaat om het in beeld brengen van de eigen ideeën van de leerling, maar nu via een schema. Suggereer om bijv. gebruik te maken van termen die de leerling zelf in de voorgaande opdrachten heeft gebruikt of is tegengekomen. Uiteindelijk gaat het om het construeren van een schema waarmee de leerling laat zien hoe volgens hem/haar het mechanisme van tegengaan van oververhitting werkt.

§ 7 - HET TEMPERATUURREGULATIESYSTEEM BIJ DE MENS

Doel en opzet

In deze paragraaf wordt de bouw en werking van het temperatuurregulatiesysteem beschreven.

Uitvoering

Aan de hand van deze paragraaf kunnen de kennis en ideeën, die leerlingen bij het werken aan de vorige paragrafen hebben vastgelegd, op orde worden gebracht.

Dit kan door het in deze paragraaf afgebeelde schema te laten gebruiken als een verklaringsmodel: een voorstelling van de werkelijkheid, bruikbaar als verklaringsinstrument voor bepaalde verschijnselen. Zie kopieerblad, bijlage 6.

Zo kan wat er achtereenvolgens gebeurt met atleet A. in § 6 aan de hand van dit schema worden gevolgd. Het is de bedoeling om hierbij ook de eerder door de leerlingen gegeven verklaringen voor deze verschijnselen te betrekken. Bij een bespreking van deze ideeën en een vergelijking met het 'wetenschappelijke' schema kunnen leerlingen zelf actief meewerken aan het herzien en op orde brengen van hun kennis. Centraal staat de hypothese-functie van dit schema: het is bruikbaar om uitspraken te doen over het verloop en effect van bepaalde processen in het menselijk lichaam. Ter afsluiting en als oefening in gebruik van het schema kan nog eens worden nagegaan welke berichten er worden doorgegeven, en welke acties er plaatsvinden als iemand buiten stilstaat in de kou.

§ 8 - TE VEEL WARMTE ?

Doel en opzet

Deze paragraaf is een voortzetting en toepassing van de thematiek van § 7. Het verschijnsel koorts wordt hier in verbinding gebracht met de werking van de temperatuurregulatie-systeem. Van leerlingen wordt gevraagd met eigen kennis over koorts te werken, gegevens over het temperatuurverloop bij een proefpersoon te interpreteren, en deze te verklaren met behulp van het eerder gegeven schema (fig. 9).

Uitvoering

Ook deze paragraaf start met het vastleggen van bij leerlingen aanwezige kennis en denkbeelden, in dit geval over koorts. Uitgangspunt daarbij is dat ieder mens -letterlijk- uit eigen ervaring kennis heeft van koorts. De eerste opdracht brengt deze kennis in beeld. Van belang is dat iedere leerling vastlegt dat wat hij/zij van koorts weet en denkt.

In de volgende opdrachten wordt aangesloten op § 7. Tenslotte is er een reflectie-opdracht, waarbij van de leerling wordt gevraagd om nu eens na te gaan en te omschrijven wat er is veranderd in zijn/haar kennis en ideeën over koorts.

In aansluiting op de opdrachten over koorts kan worden ingegaan op de oorzaak van het tijdelijk verhogen van het set-point. Uit onderzoek is gebleken dat deze verschuiving plaatsvindt onder invloed van prostaglandines, die worden geproduceerd bij ontstekingen. Door de dan optredende hogere lichaamstemperatuur wordt de productie van afweerstoffen gestimuleerd en verhoogd. Dit leidt tot een effectievere bestrijding van de infectie.

Hierop kan worden aangesloten met een discussie over functie en belang van koorts, met in het verlengde de vraag of koortsbestrijding (aspirine etc.) wel gewenst is.

De werking van aspirine berust op het tegengaan van de vorming van prostaglandines, en daarmee van hun uitwerking op het temperatuurregulatiecentrum, d.w.z. verhoging van het set-point. Dit is tevens een antwoord op de interessante vraag -gesteld op een van de proefscholen- of door het nemen van aspirine het set-point kan worden verlaagd tot onder 37°C, en -als gevolg daarvan- ook de lichaamstemperatuur !

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. Bij deze opdracht gaat het om het formuleren van een eigen definitie van en verklaring voor het verschijnsel koorts. Stimuleer leerlingen om zo nauwkeurig mogelijk hun mening op te schrijven.

2a. Als P. bleek wordt en koude rillingen krijgt is dat een teken dat de warmteproductie wordt opgevoerd. Er worden maatregelen getroffen om de lichaamstemperatuur te verhogen.

2b. Als P. hevig gaat transpireren wordt warmteafgifte gestimuleerd en vindt koeling plaats.

2c. Ook het vuurrood worden wijst hierop: de verwijding van de huidbloedvaten draagt bij aan een grotere warmteafgifte aan de omgeving.

3. Kern van deze opdracht is dat leerlingen zich realiseren dat een verhoging van de lichaamstemperatuur alleen kan plaats vinden als het set-point wordt verhoogd, en daarmee a.h.w. een hoger temperatuurniveau is toegelaten. Vanaf het moment dat het set-point is verhoogd (na ca. 5 u.) is er dus voortdurend warmteproductie; deze gaat door tot de temperatuur de verhoogde set-point waarde heeft bereikt (na ca. 30 u.), vervolgens blijft de lichaamstemperatuur op dit niveau tot het moment waarop het set-point terugschakelt naar het 'normale' niveau (na ca. 40 u.). Vanaf dit moment vindt warmteafgifte plaats om de lichaamstemperatuur weer terug te brengen naar 37°C.

4. Nodig leerlingen uit om zo precies mogelijk aan te geven wat in hun eerste omschrijving en verklaring verbeterd en aangevuld zou kunnen worden.

In een correcte definitie van koorts zou moeten voorkomen dat het gaat om een tijdelijke verhoging van de 'normale' lichaamstemperatuur, die kan optreden doordat het set-point tijdelijk is verhoogd.

§ 9 - REGULATIETHEORIE: DE REGELKRING

Doel en opzet

In deze paragraaf worden principes van regulatie vertaald naar een hoger abstractieniveau: het regelkringschema als gebruiks'voorwerp' om te kunnen volgen, verklaren en voorspellen hoe een regulatie verloopt. Met name het in biologische regulaties zo belangrijke feed-back- en set-point-principe wordt hier geïntroduceerd.

Het schema kan gebruikt worden om allerlei regulaties, zoals die in biologieboeken en -onderwijs aan de orde komen te schematiseren en zo werking en effecten in beeld te brengen.

Uitvoering

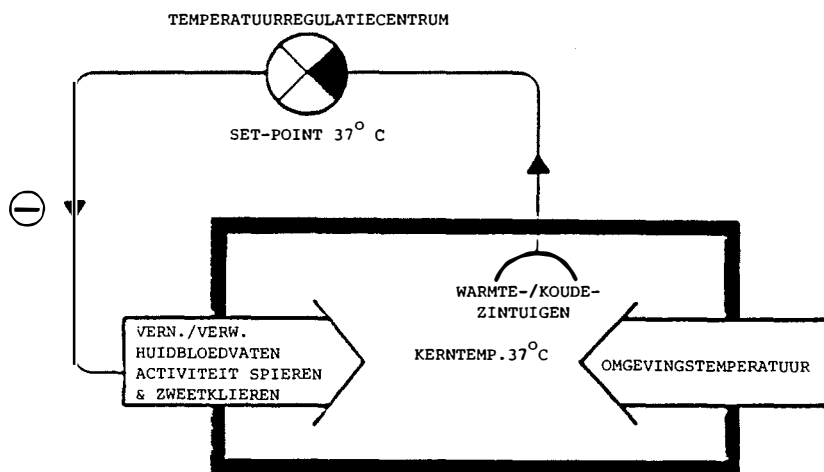
Leerlingen zullen na lezing van de tekst in staat zijn om opdracht 1 te maken. Aan de hand van bespreking van de (voorlopig) ingevulde schema's komt de docent met de klas tot definitieve invulling.

Ook opdracht 2 kan besproken worden aan de hand van de antwoorden die leerlingen hebben genoteerd.

Zie kopieervel, bijlage 7, ook door lln. te gebruiken bij opdrachten in volgende paragrafen.

Toelichting en uitwerking opdrachten

1. Het regelkringschema kan als volgt worden ingevuld:



2. Hier gaat het erom dat leerlingen doorzien dat een aantal inwendige factoren -binnen zeer nauwe grenzen- constant gehouden worden door homeostatische regulaties.

Een samenvattende omschrijving zou kunnen luiden.

Een aantal homeostatische regulaties samen zorgt voor het instandhouden van een constant en evenwichtig 'milieu intérieur'. Kortweg zou dit 'de homeostase van het milieu intérieur' genoemd kunnen worden.

§ 10 - REGULATIE IN POPULATIES

Doel en opzet

Deze paragraaf richt de aandacht op het populatieniveau. Na een omschrijving van het populatiebegrip wordt nagegaan welke punten uit het lijstje van levenskenmerken bruikbaar en van toepassing zijn bij een populatie.

In de volgende opdrachten wordt van leerlingen gevraagd om zo precies mogelijk een regulatie op populatieniveau te beschrijven, waarbij uiteindelijk de vraag aan de orde komt of hier sprake is van een homeostatische regulatie.

Uitvoering

Het is gewenst om, voorafgaand aan het werken aan de opdrachten, te doen aan beeldvorming over de kenmerken en eigenschappen van een populatie.

Toelichting opdrachten

1. Een toename van het aantal hazen leidt tot een toename van het aantal lynxen. Dit grotere aantal lynxen zorgt ervoor dat het aantal hazen sterk daalt. Het aantal hazen wordt dus gereguleerd door het aantal lynxen.

en omgekeerd:

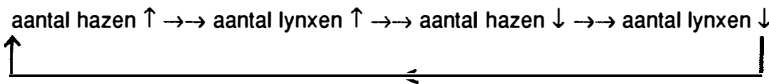
Een toename van het aantal lynxen leidt tot een daling van het aantal hazen. Door daling van de beschikbare hoeveelheid voedsel daalt vervolgens het aantal lynxen. Het aantal lynxen wordt dus gereguleerd door het aantal hazen.

Afhankelijk van de gekozen invalshoek (hazenpopulatie of lynxenpopulatie) zijn er dus twee bruikbare omschrijvingen.

2. Hier wordt niet gevraagd om een (standaard-)regelkringschema in te vullen, maar om een eigen schema te bedenken. Er is hier nl. geen sprake van een aanwijsbaar regulatiecentrum, van waaruit de populatieomvang wordt beïnvloed, leidend tot een aantals-constantie.

In een eigen schema van leerlingen zou tot uiting moeten komen dat het gaat om een interactie van populaties, waarbij een toename in de ene populatie leidt tot een afname in de andere.

Dit zou als volgt kunnen worden geschematiseerd:



3. Het antwoord moet luiden 'nee', want de regulatie in het systeem 'populatie' wordt niet gestuurd vanuit een set-point dat is ingebouwd in de populatie zelf.

4. Hier worden de levenskenmerken gehanteerd als checklist. Het gaat om een benadering waarbij gekeken wordt hoe het zit met de populatie als geheel.

Voortplanting: door afsplitsing van enkele of meer individuen kunnen in principe nieuwe populaties ontstaan.

Stofwisseling: stromen van stof, energie en informatie tussen populatie en omgeving berusten in essentie op de wisselwerking van ieder organisme met zijn omgeving. Maar populaties als geheel beïnvloeden wel hun systeemomgeving: denk bijv. aan massale kolonies Jan van Geiten, die enorme depots van guano achterlaten op de kust van Chili.

Beweging: Verplaatsingen van populaties als geheel vinden plaats. Denk aan seizoenbewegingen (vogeltrek), trek van kuddedieren, lemmingen etc.

Groei/herstel: de omvang van een populaties kan toenemen, ook kan bij een sterke terugval in omvang de populatie weer uitgroeien, zich herstellen. Indien in een kolonie of kudde een dier met een vitale rol wegvalt wordt die plaats cq. functie opgevuld.

Waarneming/reageren op prikkels: populaties als geheel kunnen actief reageren op binnenkomende informatie. Denk aan de hiervoor genoemde verplaatsingen, en aan kuddes waarin sommige dieren een waarnemersrol vervullen.

Conclusie: op grond van de voorgaande punten is het zeker te verdedigen om te stellen dat ook een populatie leeft.

§ 11. BIJZONDER GEREDELDE POPULATIES

Doel en opzet

In het hier geïntroduceerde superorganisme-concept worden een populatie statenvormende insecten gezien als een organisme. De individuen van de populatie worden daarbij beschouwd als de 'cellen' waaruit dit organisme bestaat. Bij de werkbijen in de bijenkolonie kan men bijv. spreken van een in de tijd opeenvolgende taakverdeling en specialisatie. Ook kunnen de 'cellen' van een superorganisme niet zelfstandig voortbestaan en is er sprake van een temperatuurregeling in de kolonie, korf of kast.

Met deze paragraaf wordt beoogd om de vaardigheid in het denken in termen en eigenschappen van levende systemen te vergroten.

Uitvoering

Deze paragraaf kan door leerlingen individueel worden voorbereid, waarna -eventueel weer na een tussenstap in groepen- de inhoud aan de orde kan komen via een bespreking van de opdrachten.

De paragraaf veronderstelt enige kennis van bouw en functioneren van een bijenvolk. Zonodig laat de docent dit als inleiding voorafgaan.

Toelichting en uitwerking opdrachten

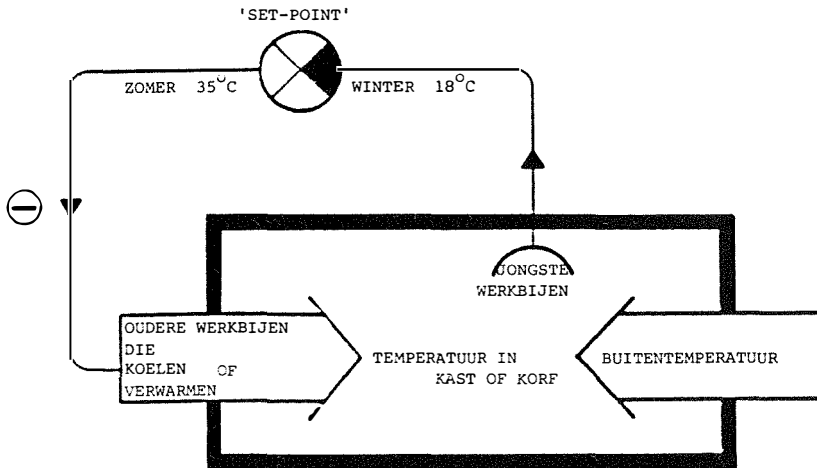
1. Ook hier wordt weer gewerkt aan de hand van het lijstje van levenskenmerken. De invulling loopt parallel met de antwoorden bij vr. 4 in voorgaande paragraaf. De bedoeling is om bij het bijenvolk in te gaan op de hogere organisatiegraad van dit type populaties.

2. Om tot het opzetten of verder verfijnen van het regelkringschema te komen kan de volgende aanvulling nuttig zijn.

Bij de temperatuurbewaking van kast en broed spelen jonge werkbijen een beslissende rol: ze lijken te fungeren als een soort sensors, die waarnemen welke temperatuurschommelingen optreden. Zonodig geven ze berichten door die tot actie leiden, uitgevoerd door andere bijen. Mogelijk bezitten deze jongste werkbijen in de eerste dagen nadat ze zijn uitgekomen nog de grootste sensibiteit voor temperatuurwisselingen, wat wellicht samenhangt met het feit dat zij gedurende een aantal dagen bij diezelfde zeer stabiele temperatuur tot ontwikkeling zijn gekomen. Deze 'cellen' van het superorganisme vervullen dus in het begin van hun werksterleven een sensorfunctie.

De gegevens wijzen er op dat de constante zomer- en wintertemperaturen worden bewaakt en geregeld op basis van een soort set-point, dat is ingebouwd in de populatie.

Het regelkringschema kan als volgt worden ingevuld:



3. Bij een bijenvolk is er sprake van een constante en evenwichtige situatie. De regulatie van de kolonietemperatuur (en mogelijk ook andere factoren) spelen hierin een belangrijke rol. De beantwoording van de voorgaande vraag levert argumenten om hier te spreken van een homeostatische regulatie, en vormt een onderbouwing voor de omschrijving 'sociale homeostase'.

LITERATUUR- EN BRONVERMELDING

Hierna zijn bronnen vermeld, waaruit gegevens en ideeën zijn geput voor het opzetten van het leerlingmateriaal.

Eencellige organismen (§ 1), w.o. de bouw en werking van het Pantoffeldiertje:

- Sleigh, M.A.: Protozoa and other protists. Edw.Arnold, London, 1989.
- Barker, J.A.(ed.): Control and co-ordination in organisms. Nuffield Advanced Science. Penguin Books, Harmondsworth, 1970.
- Kitching, J.A.: Contractile vacuoles. Biol.Rev. 13 (403-444), 1938.
- Gliddon, R.: Units of Life: Cells and Unicellular Organisms. Heinemann Educational Books, London, 1970.
- Materiaal van Carolina Biological Supply Cy., Burlington, N.Ca.

Systeemtheorie, systeembenadering en vergelijking van eencelligen en meercelligen (§ 2 - 3):

- Campbell, N.: Biology. Benjamin/Cummings Publ., Redwood City, Ca, 1990.
- Miller, J.G.: Living systems. Mc.Graw Hill, London, 1978.
- Amen, R.D.: A Biological Systems Concept. BioScience 16 (396-401), 1966.
- Schaefer, G.: Biologie und Kybernetik. Metzler, Stuttgart, 1972.
- Bligh, J., J.L.Cloudsley-Thompson, A.G.MacDonald (eds.): Environmental Physiology of Animals. Blackwell, London, 1976.

Regulatie en homeostase op organismaal niveau (§ 4 - 9):

- Prosser, C.L.: Perspectives of adaptation: theoretical aspects, in: D.B.Dill, E.F.Adolph, C.G.Wilber (eds.): Handbook of Physiology, section 4: Adaptation to the Environment. Am.Phys.Soc., Washington, 1964.
- Withers, Ph.C.: Comparative Animal Physiology. Saunders College Publ., 1992.
- Dijkgraaf, S., D.I.Zandee (eds.): Vergelijkende dierfysiologie. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht, 1978.
- Hardy, R.N.: Homeostasis. Edw.Arnold, London, 1983.
- Hill, R.W., G.A.Wise: Animal Physiology. Harper & Row, New York, 1989.
- Horrobin, D.F.: An Introduction to Human Physiology. MTP, St.Leonardgate, 1973.

Warmteproductie, warmteregulatie en koorts bij de mens (§ 6 - 8):

- Guyton, A.C.: Textbook of Medical Physiology. Saunders, Philadelphia, 1981.
- Vander, A.J., J.H.Sherman, Luciano, D.S.: Human Physiology. McGraw Hill, New York, 1990.
- Benzinger, T.H.: The Human Thermostat. Scientific American 244 (1), 1961.
- Weissmann, G.: Aspirin. Scientific American 264 (1), 1991.

Regulatie op populatie-/ ecosysteemniveau (§ 10 - 11)

- Begon, M., J.L.Harper, C.R.Townsend: Ecology: individuals, populations, and communities. Blackwell, Boston, 1990.
- Odum, E.P.: Fundamentals of Ecology. Saunders, Philadelphia, 1971.
- Engelberg, J., L.L.Boyarsky: The noncybernetic nature of ecosystems. Am.Naturalist 114 (317-324), 1979.
- Patten, B.C., E.P.Odum: The cybernetic nature of ecosystems. Am.Naturalist 118 (886-895), 1981.
- Verschuuren, G.M.N.: Kent de natuur een natuurlijk evenwicht? Biovisie Magazine 3 (42), 1989.
- Sutton, D.B., N.P.Harmon: Ecology: selected concepts. John Wiley, New York, 1973.

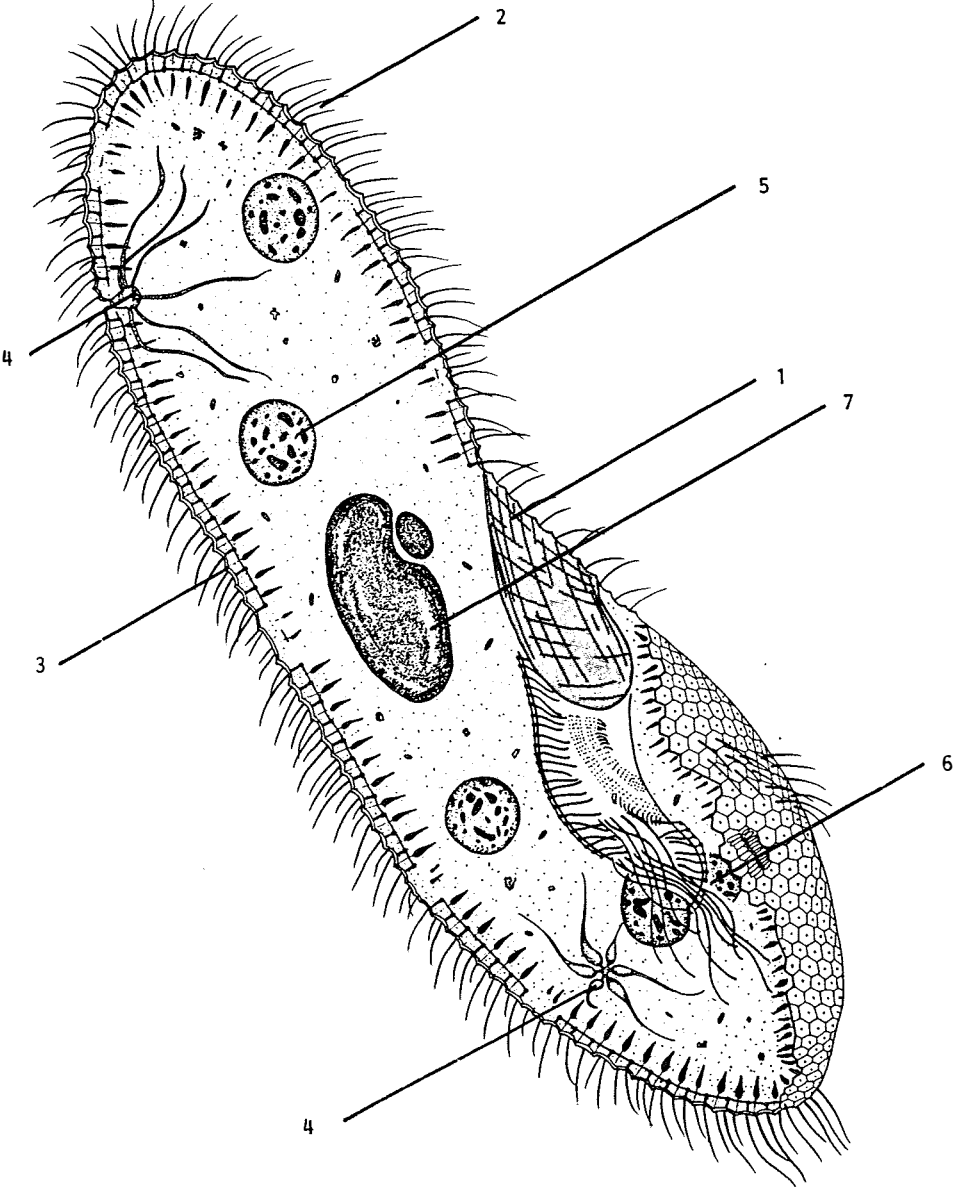
Sociale insecten / Superorganisme (§ 11)

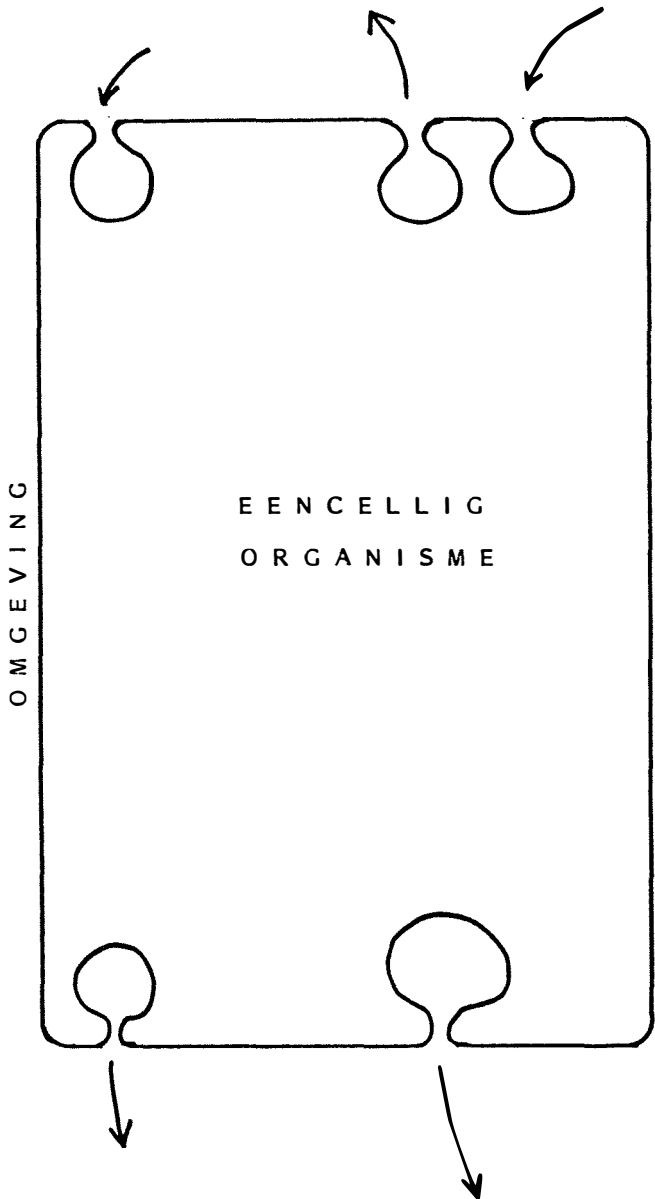
- Wilson, O.E.: The Insect Societies. Belknap Press, Cambridge, Ma., 1976.
- Wheeler, W.M.: The ant-colony as an organism. Journ.of Morphology, 22 (307-325), 1911.
- Dröschner, V.B.: Magie der zintuigen. Wereldvenster, Baarn, 1967.
- Seeley, T.D.: Honeybee Ecology. Princeton Univ.Press, Princeton, 1985.
- Oster, G.F, E.O.Wilson: Caste and Ecology in the Social Insects. Princeton Univ.Press, 1978.

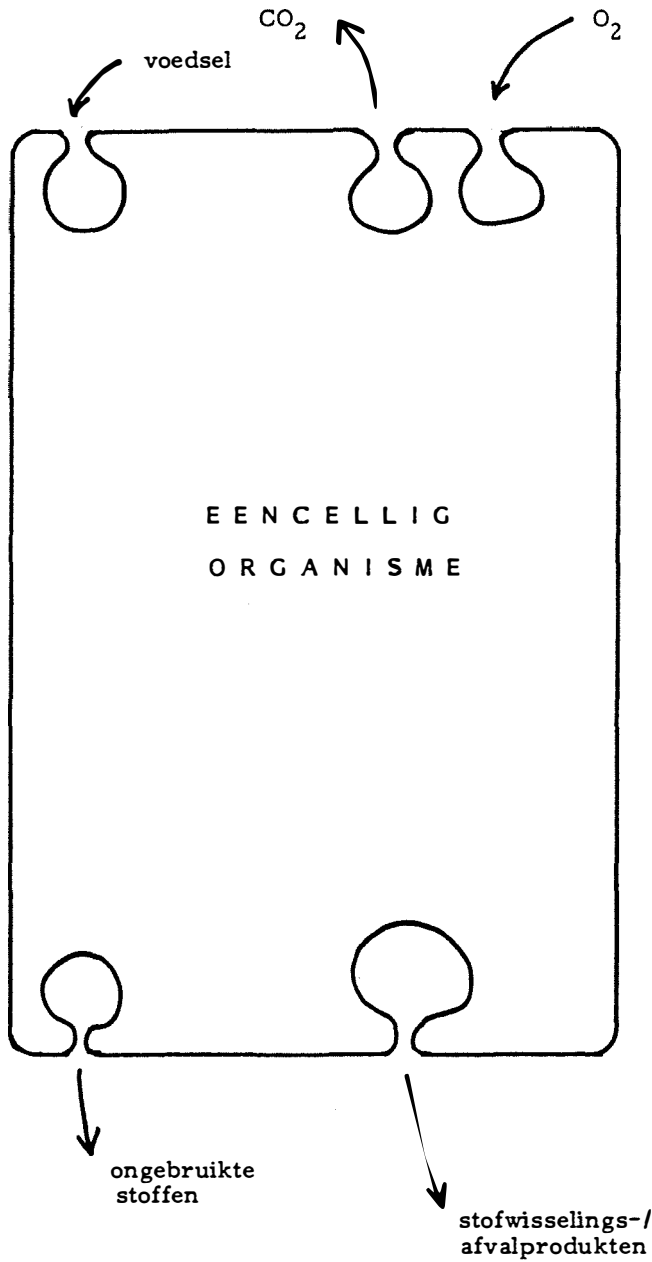
BIJLAGEN

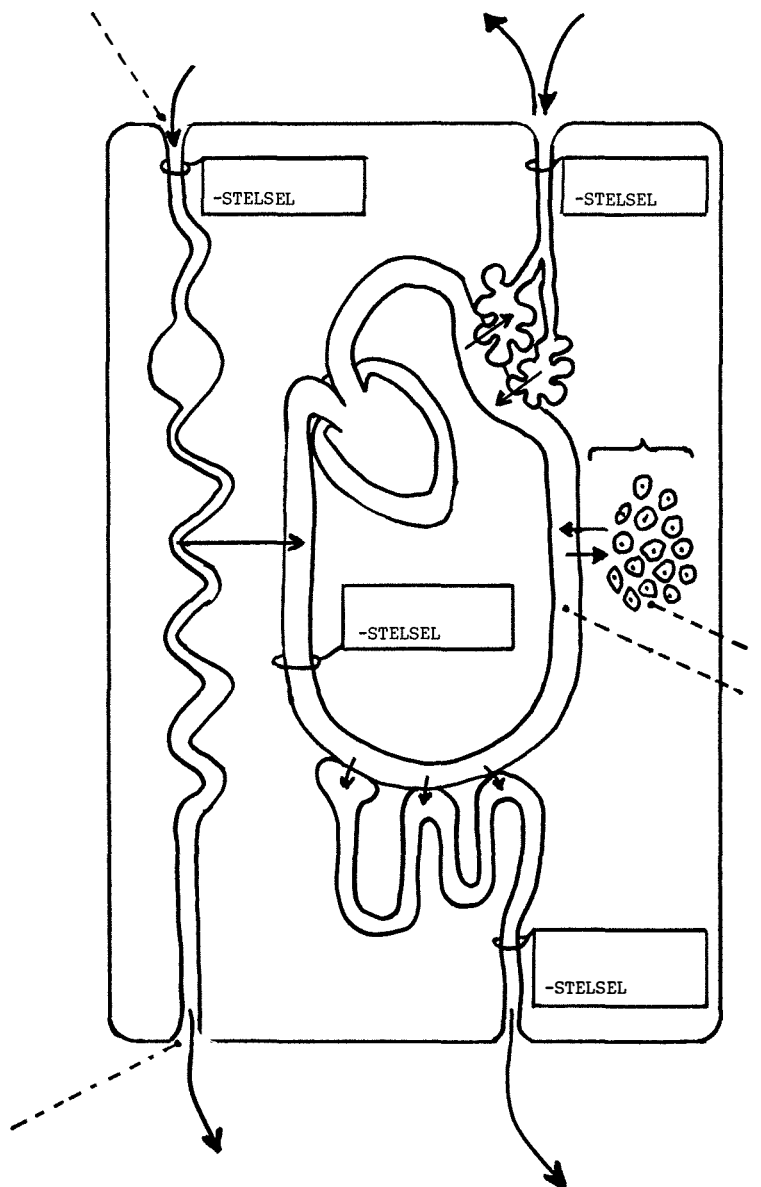
Afbeeldingen, te gebruiken voor het produceren van kopieën of o.h.-sheets.

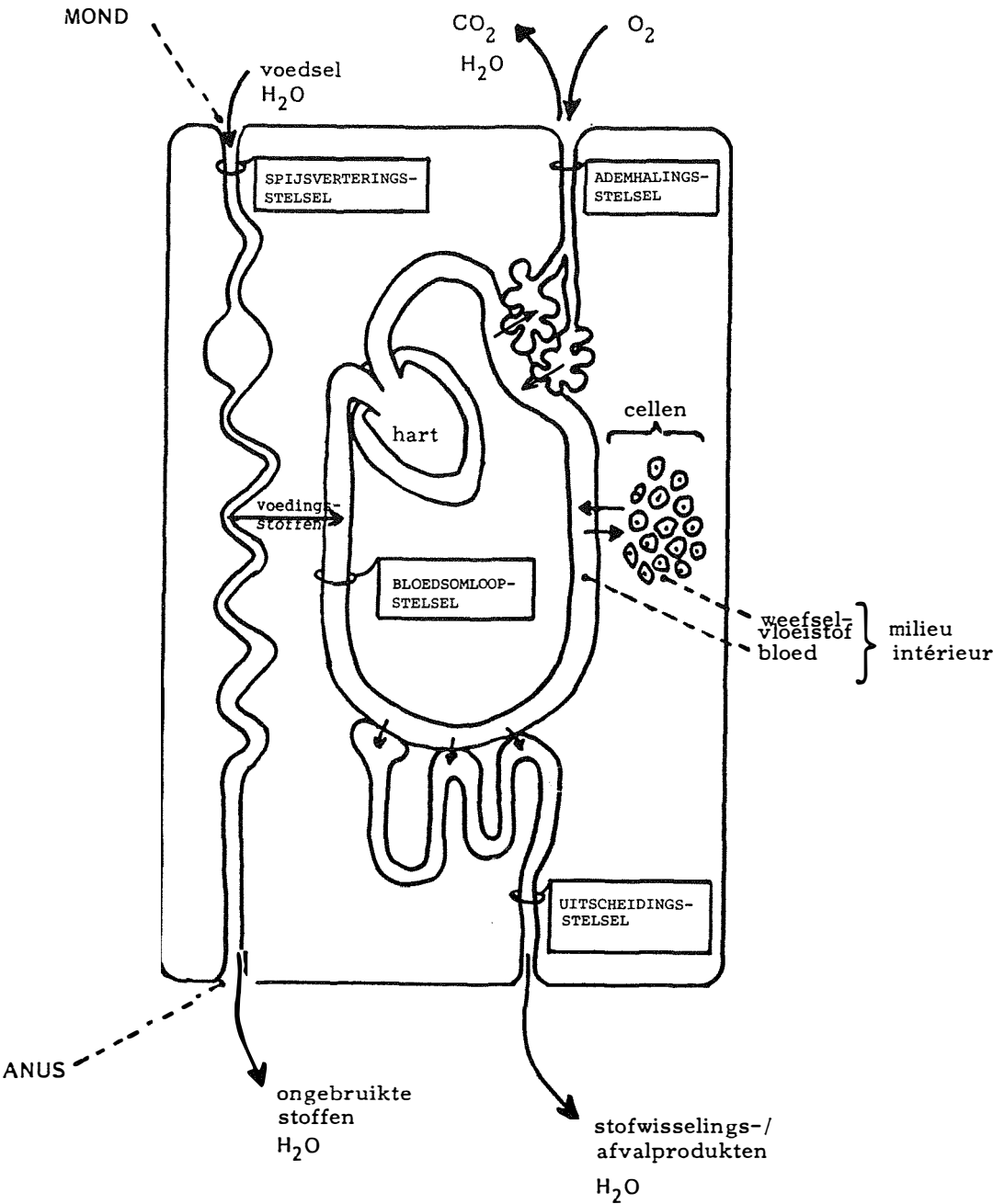
1. PANTOFFELDIERTJE
2. SCHEMA EENCELLIG ORGANISME (blanco)
3. SCHEMA EENCELLIG ORGANISME (ingevuld)
4. SCHEMA MEERCELLIG ORGANISME (blanco)
5. SCHEMA MEERCELLIG ORGANISME (ingevuld)
6. SCHEMA TEMPERATUURREGULATIESYSTEEM
7. REGELKRINGSCHEMA

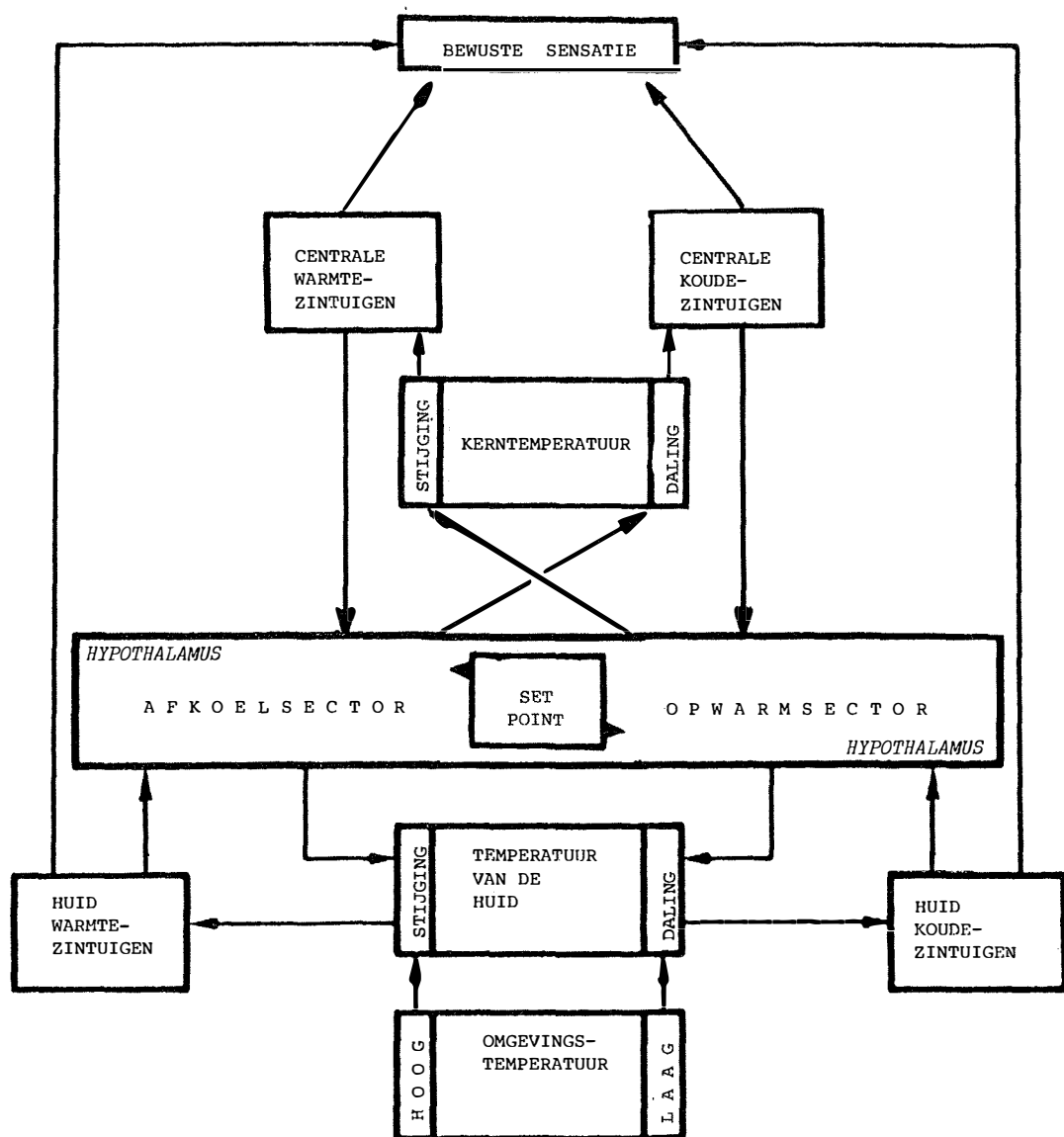


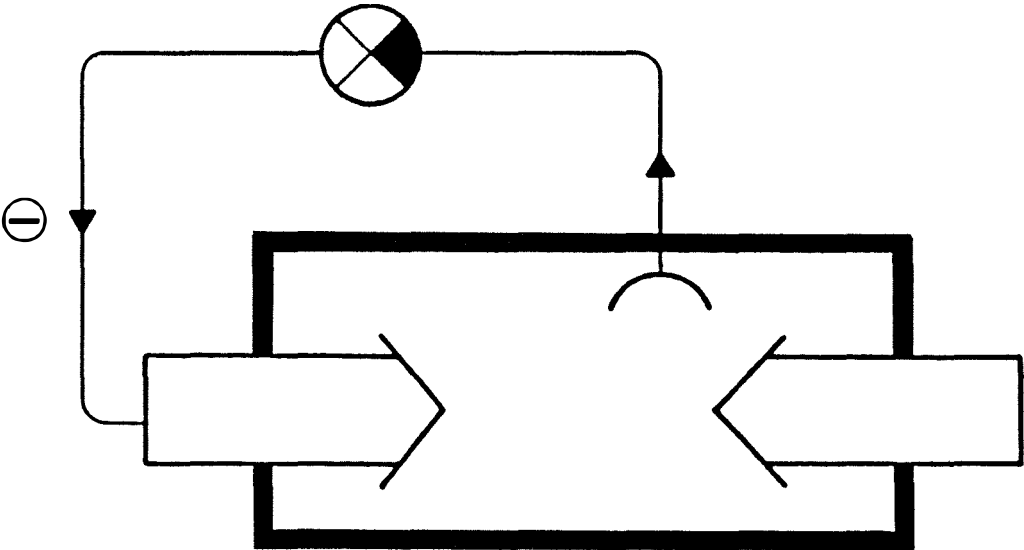












BIJLAGE 6-1

FREQUENTIETABELLEN SCORES A-OPDRACHTEN MET TOELICHTING

In de frequentietabellen is per school per meetmoment vermeld het percentage leerlingen dat scoorde in de antwoordcategorieën van de betreffende opdracht.

Opdracht A1

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	12,5	6,3	6,3	11,1	3,7	3,7	53,8	15,4	-	21,4	7,1	3,6
1	25,0	18,8	43,8	-	7,4	3,7	7,7	-	15,4	8,9	8,9	17,9
2	62,5	37,6	31,3	88,9	70,4	70,4	38,5	84,7	69,3	69,7	64,3	58,9
3	-	18,8	-	-	7,4	3,7	-	-	15,4	-	8,9	5,4
4	-	18,8	18,8	-	11,1	18,5	-	-	-	-	10,8	14,3
3+4	-	37,6	18,8	-	18,5	22,2	-	-	15,4	-	19,7	19,7

3 + 4: Functioneel-biologische typeringen / expert knowledge

De uitkomsten van de analyse van het leerlingmateriaal laten zien dat over de hele linie de hoogste score op elk van de drie meetmomenten betrekking heeft op antwoorden waarin de -correct getypeerde- fysische osmotische situatie (code 2) als verklaring voor het gesignaleerde verschijnsel wordt gebruikt. Bij vergelijking van M1 en M3 is er een toename van antwoorden waarin gebruik wordt gemaakt van de functionele structuur (code 3) of de functionele verklaring (code 4). De expert knowledge op M3 bedraagt in S1, S2 en S3 resp. 18,8, 22,2 en 15,4 %; over de drie populaties gemiddeld 19,7 %.

In school 1 (S1) blijkt bij vergelijking van M1 en M3 een toename van het percentage leerlingen dat in de categorieën 0 en 1 scoort, dwz. dat het aantal minder adequate antwoorden toeneemt. Deze toename gaat gepaard met een afname van het percentage fysische typeringen dat aanvankelijk werd gegeven (code 2): deze score daalt van ca. 62 naar 31%.

In het materiaal van school 2 (S2) wordt in de categorie van niet-adequate antwoorden (codes 0 & 1) op alle meetmomenten laag gescoord. Op M1 wordt hoog gescoord in categorie 2 (ca. 89%). Het gebruik van deze fysische typering daalt op M2 naar ca. 70% en blijft vervolgens op M3 stabiel.

In het materiaal van school 3 (S3) scoort op M1 ca. 61% in de categorieën 0 en 1; dit percentage daalt op M3 naar ca. 15%. In deze groep is er bij vergelijking van M1 en M3 een toename van scores in categorie 2 van ca. 38 naar 69%. In S3 zijn er aanvankelijk opvallend veel niet-adequate antwoorden; dit percentage vertoont een sterke daling. De fysische typering (code 2) vertoont een opvallende stijging, van ruim 30%.

Opdracht A2

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	6,3	-	-	11,1	3,7	-	-	15,4	-	7,1	5,4	-
1	12,5	-	-	7,4	-	-	7,7	15,4	-	8,9	3,6	-
2	-	-	-	7,4	3,7	-	-	7,7	-	3,6	3,6	-
3	-	6,3	-	-	-	-	15,4	7,7	15,4	3,6	3,6	3,6
4	25,0	6,3	12,5	3,7	3,7	3,7	7,7	7,7	15,4	10,7	5,4	8,9
5	12,5	37,5	25,0	7,4	3,7	7,4	15,4	7,7	30,8	10,7	14,3	17,9
6	6,3	-	-	-	11,1	-	18,5	7,7	7,7	10,7	7,1	1,8
7	37,5	50,0	62,5	63,0	74,1	88,9	15,4	30,8	30,8	44,6	57,1	67,9
A	12,5	6,3	-	14,8	3,7	-	23,1	30,8	15,4	16,1	10,8	3,6
B	81,3	93,8	100,0	74,1	92,6	100,0	77,0	53,9	84,7	76,7	83,9	96,4

A: Continue warmteproductie onbekend / scores 1,2,3

B: Continue warmteproductie bekend / scores 4,5,6,7

7: Expert knowledge m.b.t. continue warmteproductie

Op M1 komt bij alle groepen een relatief hoge score in de categorie expert knowledge (7) naar voren (resp. ca. 37, 63 en 15%): deze leerlingen waren reeds bekend met het verschijnsel 'continue warmteproductie'. Voorafgaand aan de lessenreeks werd dus door relatief veel leerlingen een adequaat antwoord gegeven.

Bij vergelijking van M1 en M3 is er in alle groepen op M3 in deze categorie sprake van een hogere score, nl. in S1 ca. 62, in S2 ca.89 en in S3 ca.31%. Voor de groepen als geheel neemt het percentage leerlingen dat in deze categorie scoort toe van ca.44% op M1 naar 68 % op M3.

Het percentage leerlingen met de -meer of minder 'correcte'- 'onjuist'-score (categorieën 4, 5, 6, 7) bedraagt voor de groepen als geheel op M1 ca.77 en neemt op M3 toe naar ca. 96%. In samenhang hiermee is er in de drie groepen samen een daling van de score in de -niet correcte- categorie 'juist'-scores (cat. 0 en 1) van ca. 16% op M1 naar ca.4% op M3. Op het laatste meetmoment M3 werd geen enkel inadequaat antwoord (cat.1, 'anders dan') meer aangetroffen.

In S3 is een discontinuïteit zichtbaar in het scoreverloop dat betrekking heeft op de kennis van het aspect 'continue warmteproductie': bij deze terugval in score op M2 is sprake van een uitzonderlijk beeld.

Opdracht A3

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	18,8	6,3	-	11,1	7,4	7,4	30,8	7,7	-	17,9	7,1	3,6
1	75,0	43,8	56,3	63,0	40,7	25,9	53,8	7,7	23,1	64,3	33,9	33,9
2	-	-	-	18,5	7,4	3,7	15,4	7,7	-	12,5	5,4	1,8
3	-	6,3	-	3,7	-	3,7	-	-	-	1,8	1,8	1,8
4	6,3	-	6,3	-	18,5	29,6	-	23,1	30,8	1,8	14,3	23,2
5	-	37,5	37,5	3,7	14,8	18,5	-	38,5	23,1	1,8	26,8	25,0
6	-	6,3	-	-	11,1	7,4	-	15,4	15,4	-	10,7	7,1
7	-	-	-	-	-	3,7	-	-	7,7	-	-	3,6
A	75,0	50,1	56,3	85,2	48,1	33,3	69,2	15,4	23,1	78,6	41,1	37,5
B	6,3	43,8	43,8	3,7	44,4	59,2	-	77,0	77,0	3,5	51,8	58,9

A: Non-regulatie redeneringen / scores 1,2,3

B: Regulatie redeneringen / expert knowledge / scores 4,5,6,7

Bij de analyse van de gegevens is door samenvoeging van de scores in de categorieën 1, 2 en 3 enerzijds en de scores in de categorieën 4, 5, 6 en 7 anderzijds onderscheid gemaakt tussen 'non-regulatie-redeneringen' en 'regulatioredeneringen'.

Bij de groepen als geheel is een sterke toename te zien van regulatioredeneringen; deze expert-knowledge neemt bij vergelijking van M1 naar M3 toe van ca.3 naar ca. 59%. In samenhang hiermee vertoont de totale populatie bij vergelijking van M1 en M3 een sterke afname van 'non-regulatie redeneringen': van ca.79% naar ca. 38%.

Het scoreverloop met betrekking tot non-regulatioredeneringen vertoont in S1 en S3 enige discontinuïteit; deze redeneringen komen in deze groepen op M3 weer iets meer naar voren. Uit het scoreverloop met betrekking tot regulatioredeneringen blijkt bij vergelijking van M2 en M3 dat dit percentage stabiel blijft (in S1 en S3) of nog is gestegen (in S2).

Opdracht A4

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	6,3	-	6,3	18,5	7,4	7,4	7,7	-	7,7	12,5	3,6	7,1
1	93,7	75,0	68,8	81,5	25,9	11,1	92,3	15,4	38,5	87,5	37,5	33,9
2	-	6,3	-	-	25,9	18,5	-	15,4	-	-	17,9	8,9
3	-	18,8	25,0	-	40,7	62,9	-	69,2	53,9	-	41,1	50,0

3: Expert knowledge m.b.t. koorts

Bij vergelijking van de scores op M1 en M3 blijkt dat de score in de categorie expert-knowledge toeneemt van 0 naar 50%; dit betekent dat op M3 de helft van de leerlingen een omschrijving geeft waarin met name de rol die het set-point speelt in de temperatuurregulatie correct naar voren komt.

Bij vergelijking van M1 en M3 is er in elk van de drie groepen een duidelijke afname te zien van de (incorrecte) scores 0 en 1. Voor de groepen als geheel is het scoringspercentage op M1 100% en op M3 41%.

Voor wat betreft het scoreverloop is er in school 1 (S1) en school 2 (S2) over het hele traject een stijgende lijn te zien: ook van M2 naar M3 is er nog een toename van expert knowledge (score 3). Bij school 3 (S3) valt de discontinuïteit in het scoreverloop op: na M2 is er een duidelijke terugval v.w.b. score 3.

Opdracht A5

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	6,3	6,3	12,5	33,3	11,1	-	15,4	-	-	21,4	7,1	3,6
1	18,8	-	18,8	7,4	14,8	11,1	30,8	7,7	15,4	16,1	8,9	14,3
2	25,0	-	-	14,8	14,8	29,6	15,4	7,7	7,7	17,9	8,9	16,1
3	50,0	93,8	68,8	44,4	59,2	59,2	38,5	84,6	76,9	44,7	75,0	66,0

3: Expert knowledge m.b.t. opwarmreactie

Voorafgaand aan de onderwijsinterventie scoort op M1 in school 1, 2 en 3 (S1, S2 en S3) resp. ca. 50, 44 en 38 % van de leerlingen reeds op expert-knowledge niveau (categorie 3). Dit betekent dat in de drie groepen samen ca. 45% van de leerlingen de zgn. opwarmreactie adequaat hebben omschreven. Dit percentage neemt van M1 naar M3 toe tot ca. 66%.

Op alle scholen scoort op M2 een hoger percentage leerlingen in de expert-knowledge categorie dan op M3. De aanvankelijk hogere score (over de groepen samen op M2 ca. 75%) blijkt op M3 te zijn teruggelopen naar ca. 66%.

Opdracht A6

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	18,8	6,3	6,3	33,3	3,7	11,1	30,8	7,7	-	28,6	5,4	7,1
3	18,8	12,5	-	33,3	7,4	33,3	46,2	23,1	-	32,1	12,5	16,1
4	25,0	31,3	62,6	25,9	22,2	3,7	7,7	7,7	15,4	21,4	21,4	-
5	37,6	6,3	12,5	7,4	59,2	44,4	15,4	53,8	84,6	17,9	42,9	44,7
6	-	43,8	18,8	-	7,4	7,4	-	7,7	-	-	17,9	8,9
B	43,8	43,8	62,6	59,2	29,6	37,0	53,8	30,8	15,4	53,6	34,0	39,3
C	37,6	50,1	31,3	7,4	66,6	51,8	15,4	61,5	84,6	17,9	60,8	53,6

B: Causale redeneringen / scores 3 + 4

C: Circulaire redeneringen / expert knowledge / scores 5 + 6

In de categorie expert-knowledge (score 5 en 6) laten de drie groepen samen bij vergelijking van M1 en M3 een toename van scores zien van ca. 18 naar ca. 54 %: dit betreft de antwoorden waarin leerlingen redeneringen met een circulair karakter gebruiken ter verklaring van de aantalsregulatie in een populatie. Bij vergelijking van de groepen blijkt dat in school 1 (S1) het percentage leerlingen dat het cyclisch karakter van het proces aangeeft op M1 relatief hoog is (ca.38%) en op M3 enigszins is gedaald (tot ca. 31%). In school 2 (S2) en school 3 (S3) is er bij vergelijking van M1 en M3 een toename in score te zien van ca. 7 naar 52% (in S2) en van 15 naar 85% (in S3).

Met betrekking tot het scoreverloop is voorts opvallend dat in school 1 (S1) en school 2 (S2) sprake is van een discontinueit: een aanvankelijk hogere score op M2 wordt op M3 teniet gedaan. In school 3 (S3) is een continu scoreverloop te zien.

Het percentage leerlingen dat de causale redenering uit de stelling overneemt en/of eventueel zelf aanvult (categorie 3 of 4), vertoont bij vergelijking van M1 en M3 in S1 een opvallende stijging. Bij S2 en S3 is er sprake van een duidelijke afname. Hoewel ook in het gemiddelde percentage van deze score een daling van dit type redenering kan worden gelezen, is hier sprake van een zekere uitmiddeling tussen het hoge percentage in S1 en het lage percentage in S3 op M3.

Opdracht A7

	S1			S2			S3			T		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3
0	-	-	6,3	14,8	7,4	3,7	15,4	-	-			
1	37,6	50,0	25,0	18,5	25,9	11,1	38,5	53,8	53,8			
2	12,5	12,5	25,0	7,4	14,8	18,5	15,4	15,4	-			
3	50,0	25,0	25,0	48,1	33,3	37,0	30,8	15,4	23,1	44,7	26,8	30,3
4	-	12,5	18,8	11,1	18,5	29,6	-	15,4	23,1	5,4	16,7	25,0

3: Oorzaak koude en voedseltekort

4: Oorzaak problemen warmteproductie / expert knowledge

In alle groepen neemt bij vergelijking van M1 en M3 het percentage leerlingen dat scoort in de categorie expert-knowledge (categorie 4) toe. In de groepen samen scoort op M1 ca. 5% op M1 en op M3 ca. 25% van de leerlingen in deze categorie, wat betekent dat zij antwoorden hebben gegeven waarin de extreme klimatologische omstandigheden en het (intern) fysiologisch functioneren met elkaar in verband zijn gebracht.

De percentages antwoorden waarin deze expert knowledge naar voren komt (score 4) vertonen van M1 via M2 naar M3 in elk van de groepen een duidelijke continue stijging.

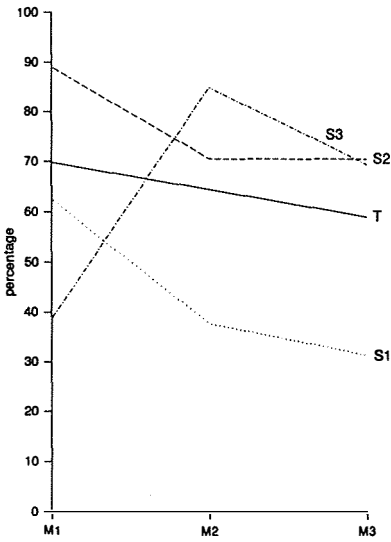
Het percentage leerlingen dat de combinatieverklaring geeft waarin alleen 'uitwendige' factoren als oorzaak worden genoemd (score 3, 'koude' plus 'voedseltekort') is in elk van de groepen op M3 lager dan op M1.

In S1 en S2 daalt bij vergelijking van M1 met M3 het percentage leerlingen dat alleen 'koude' als oorzaak noemt (categorie 1) enigszins, terwijl er tegelijkertijd een stijging is van het percentage dat alleen 'voedseltekort' als oorzaak noemt (categorie 2). In S3 neemt de verklaring 'koude' vanaf M1 de belangrijkste plaats in; dit blijft zo op M3.

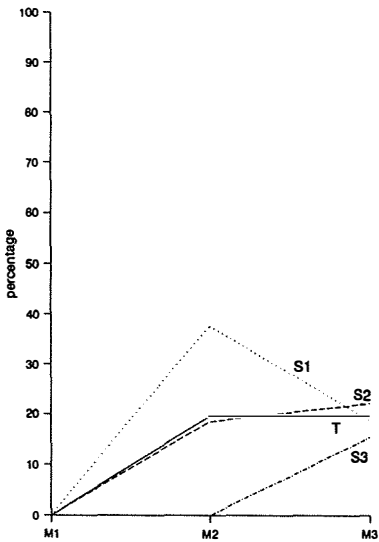
BIJLAGE 6-2
FREQUENTIEGRAFIEKEN SCORES A-OPDRACHTEN

In de frequentiegrafieken is per school per meetmoment het percentage leerlingen gevisualiseerd dat scoorde in een of meer specifieke antwoordcategorieën van de betreffende opdracht, waaronder de categorie expert knowledge (EK).

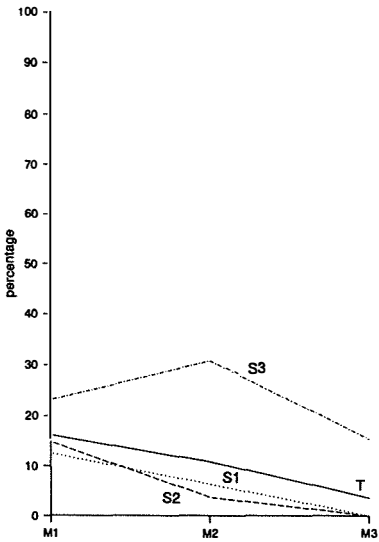
A1: Fysische typering (2)



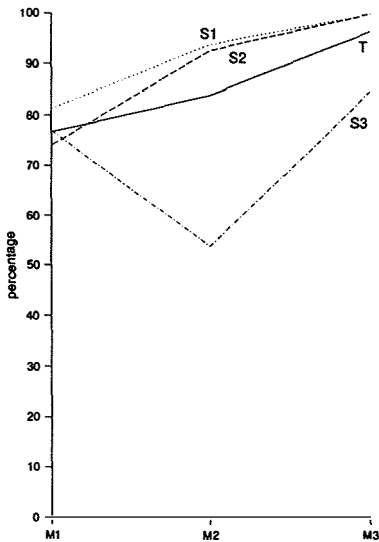
A1: Functioneel-biologische typering (EK 3,4)



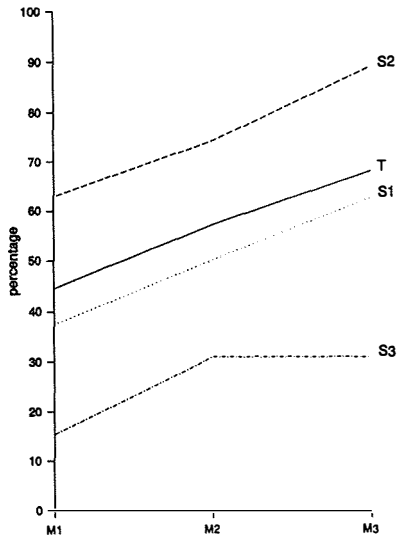
A2: Continue warmteproductie onbekend (1,2,3)



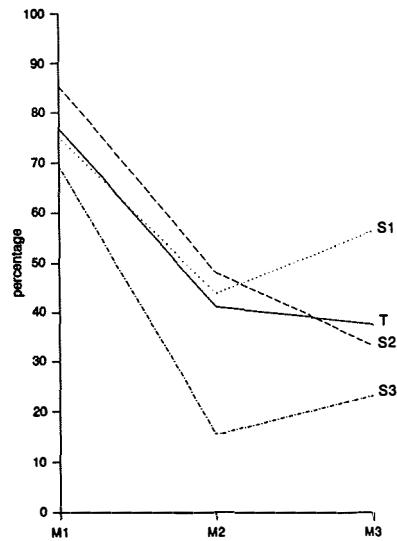
A2: Continue warmteproductie bekend (4,5,6,7)



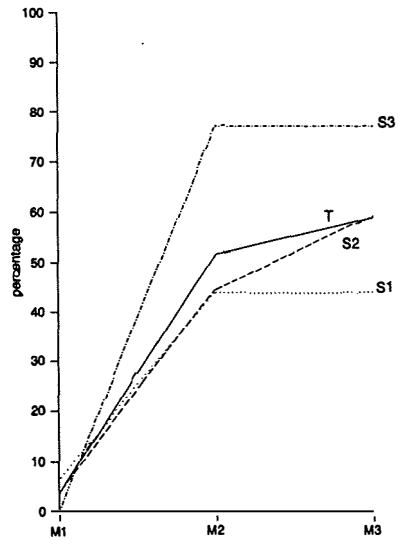
A2: Continue warmteproductie (EK 7)



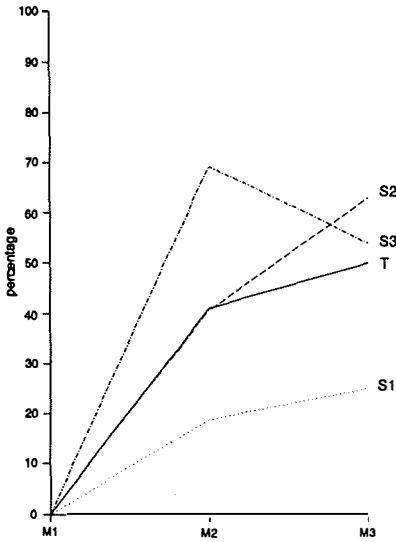
A3: Non-regulatiere deneringen (1,2,3)



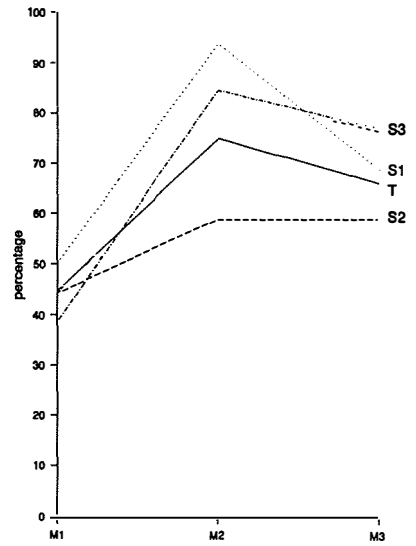
A3: Regulatie redeneringen (EK 4,5,6,7.)



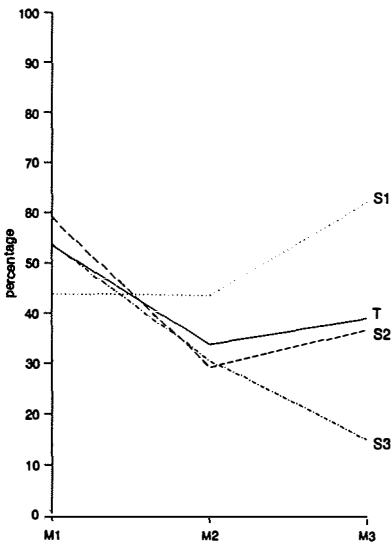
A4: Koortsdefinitie (EK 3)



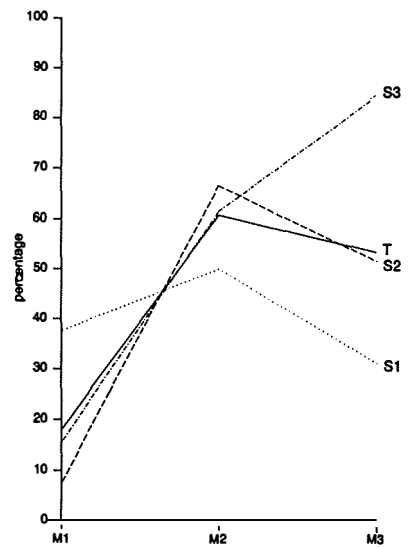
A5: Regeling opwarmreactie (3)



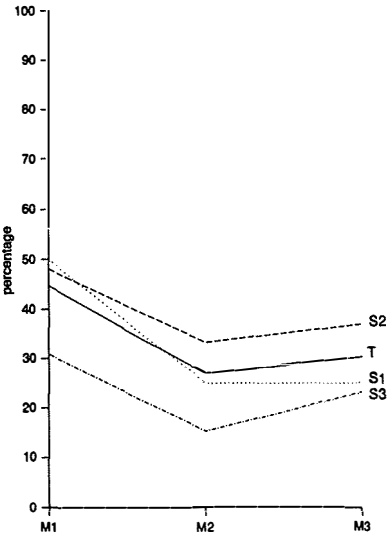
A6: Causale redeneringen (3,4)



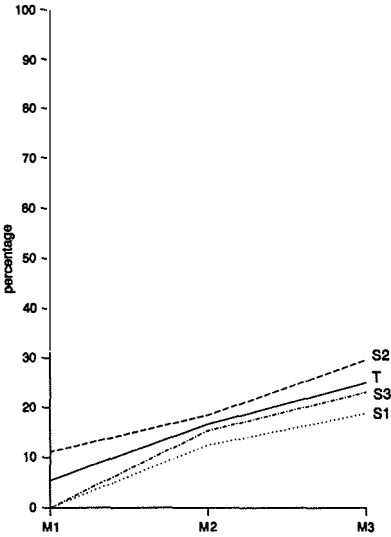
A6: Circulaire redeneringen (EK 5,6)



A7: Oorzaak koude en voedseltekort (3)



A7: Oorzaak problemen warmteproductie (EK 4)



BIJLAGE 6-3

REGRESSIE-/PROGRESSIETABELLEN

In de tabellen is de kennisontwikkelingsrelatie aangegeven tussen de scores op M1 en M3 en het aantal leerlingen dat deze relatie vertoonde

Opdracht A1

Uit de tabel blijkt dat ongeveer de helft van de leerlingen (29) na afloop van de lessenreeks, op M3, dezelfde typeringen blijft hanteren als voorafgaand aan de lessenreeks, op M1 (afb. 7.6).

In deze tabel worden 11 scores gevonden waarbij ontwikkeling in de richting van expert knowledge optreedt, dwz. progressie naar code 3 of 4. Dit betreft 11 (van de 56) leerlingen, of ca. 20%.

Regressie	Stabiel	Progressie
	0 → 0 1	
		0 → 1 3
		0 → 2 5
		0 → 3 2
		0 → 4 1
	1 → 1 2	
		1 → 2 2
		1 → 3 -
		1 → 4 1
2 → 0 1		
2 → 1 5		
	2 → 2 26	
		2 → 3 1
		2 → 4 6
Totaal, 6 waarvan	29	21
expert knowledge -	-	11 / 20%

Expert knowledge score: 3, 4

Opdracht A2

Bij ca. 50% van de leerlingen (25) is er een stabiele score in categorie 7. Bij 18 leerlingen (ca. 32%) is er progressieve kennisontwikkeling naar expert knowledge.

Regressie	Stabiel	Progressie
		0 → 74
		1 → 31
		1 → 52
		1 → 72
		2 → 72
		3 → 51
		3 → 71
	4 → 41	
		4 → 75
5 → 41		
	5 → 53	
		5 → 72
6 → 41		
6 → 52		
	6 → 61	
		6 → 72
7 → 31		
7 → 42		
7 → 52		
	7 → 720	
Totaal waarvan expert knowledge5 / 9%	25 20 / 36%	22 18 / 32%

Expert knowledge score: 7

Opdracht A3

Uit de tabel kan worden afgeleid dat 39 leerlingen (ca. 70 %) een progressieve kennisontwikkeling vertonen, waarvan op M3 33 leerlingen (ca. 59%) scoren in de categorie expert knowledge. In de categorie van stabiele kennis valt op dat bij 12 van de 13 leerlingen in deze categorie sprake is van het vasthouden van het 'optimum'-idee, een denkbeeld dat bij leerlingen veel voorkomt (zie bijvoorbeeld de uitkomsten van de pilotstudie, § 4.3.5 van dit proefschrift).

Regressie	Stabiel	Progressie
		0 → 1 5
		0 → 4 3
		0 → 5 1
		0 → 6 1
1 → 0 2		
	1 → 1 12	
		1 → 4 9
		1 → 5 10
		1 → 6 1
		1 → 7 2
	2 → 2 1	
		2 → 3 1
		2 → 4 1
		2 → 5 3
		2 → 6 1
3 → 1 1		
4 → 1 1		
		5 → 6 1
Totaal 4	13	39
waarvan expert knowledge 1 / 2%	-	33 / 59 %

Expert knowledge score: 4, 5, 6, 7

Opdracht A4

Uit de tabel blijkt dat zich bij 27 leerlingen (ca. 48%) een progressieve kennisontwikkeling voordoet in de richting van expert knowledge (score 3).
Voorts blijkt dat bij 18 leerlingen (ca. 30%) sprake is van een stabiele score in categorie 1.

Regressie	Stabiel	Progressie
		0 → 1 2
		0 → 2 2
		0 → 3 3
1 → 0 4		
	1 → 1 18	
		1 → 2 3
		1 → 3 24
Totaal 4	18	34
waarvan		
expert knowledge -	-	27 / 48%

Expert knowledge score: 3

Opdracht A5

Uit de tabel blijkt dat bij 22 leerlingen sprake is van een stabiele score; 19 van deze leerlingen (ca.34% van het totaal) scoort op M1 in de de expert-knowledge categorie (score 3).

Voorts laat de tabel zien dat bij 24 leerlingen (ca. 43 %) een progressieve kennisontwikkeling kan worden geconstateerd; hiervan scoren 18 leerlingen (ca. 32%) op M3 in de expert-knowledge categorie. Het percentage leerlingen dat bij vergelijking van M1 met M3 terugvalt in score bedraagt ca.18%, waarvan 11% uit de categorie expert knowledge.

Regressie	Stabiel	Progressie
		0 → 1 2
		0 → 2 4
		0 → 3 6
1 → 0 1		
	1 → 1 1	
		1 → 3 7
2 → 1 3		
	2 → 2 2	
		2 → 3 5
3 → 0 1		
3 → 1 2		
3 → 2 3		
	3 → 3 19	
Totaal 10	22	24
waarvan expert knowledge 6 / 11%	19 / 34%	18 / 32%

Expert knowledge score: 3

Opdracht A6

De tabel laat zien dat 34 (van de 56) leerlingen bij deze opdracht een progressieve score vertonen; 24 van deze leerlingen (43 % van het totaal) scoren op M3 in de expert-knowledge categorie (scores 5 en 6).

Regressie	Stabiel	Progressie
	2 → 21	
		2 → 33
		2 → 45
		2 → 56
		2 → 61
3 → 21		
	3 → 33	
		3 → 42
		3 → 510
		3 → 62
4 → 21		
4 → 33		
	4 → 44	
		4 → 53
		4 → 61
5 → 21		
5 → 42		
	5 → 56	
		5 → 61
Totaal8	14	34
waarvan		
expert knowledge3 / 5%	6 / 11%	24 / 43 %

Expert knowledge score: 5, 6

Opdracht A7

Uit de tabel blijkt dat zich bij 22 leerlingen een progressieve kennisontwikkeling voordoet; bij 13 leerlingen (23 % van het totaal) is er ontwikkeling in de richting van expert knowledge (score 4).

Slechts een klein percentage leerlingen geeft voorafgaand aan de lessenreeks blij van kennis op laatstgenoemd niveau.

Regressie	Stabiel	Progressie
		0 → 1 1
		0 → 2 2
		0 → 4 1
	1 → 1 9	
		1 → 2 3
		1 → 3 1
		1 → 4 4
2 → 0 1		
	2 → 2 2	
		2 → 3 2
3 → 0 1		
3 → 1 6		
	3 → 3 12	
		3 → 4 8
4 → 2 2		
	4 → 4 1	
Totaal 10	24	22
waarvan expert knowledge 2 / 4%	1 / 2%	13 / 23%

Expert knowledge score: 4

BIJLAGE 6-4

PROEFWERKVRAGEN

BIJ DE LESSENSERIE 'GEREGELD OVERLEVEN'

1. Van de soorten eencelligen die in zout water leven hebben sommige soorten een contractiele vacuole, andere niet.

Beschrijf voor deze twee typen zout-water eencelligen de wisselwerking met hun systeemomgeving, en vergelijk de overlevingsproblemen van beide typen.

Is het overleven voor het ene type makkelijker dan voor het andere ?
Hoe zit dat dan ? Leg uit.

2. Leg uit hoe het komt dat als gevolg van een bericht vanuit de afkoelsector van de hypothalamus de huidtemperatuur *stijgt*.
3. Zgn. wisselwarme dieren (ook wel koudbloedige dieren genoemd) hebben een niet-constante lichaamstemperatuur.

a. is het beter om zeggen dat hun lichaamstemperatuur alleen *wordt bepaald door* de omgevingstemperatuur, of dat hun lichaamstemperatuur *ook nog afhangt* van andere factoren ? Motiveer je keuze.

Bij veel wisselwarme dieren die in koudere streken leven is er sprake van een zgn. *winterrust*. Voorbeeld: kikkers, die in de modder kruipen.

b. geef een verklaring voor het optreden van winterrust, waarbij je uitlegt wat er *in* het dier gebeurt als de buitentemperatuur daalt.

Sommige dieren met een constante lichaamstemperatuur houden een *winterslaap*. Voorbeelden: egels, beren.

c. geef een verklaring voor het optreden van winterslaap, waarbij je ook hier uitlegt wat er in het dier gebeurt als de buitentemperatuur daalt.

d. omschrijf het verschil tussen winterrust en winterslaap

4. Het binnenste van darmkanaal en longen wordt door biologen wel eens het 'milieu intermédiaire' genoemd.
Zouden de eigenschappen van dit milieu intermédiaire het meest overeenkomen met het milieu extérieur (de omgeving van het organisme) of met het milieu intérieur ?
Leg je antwoord uit.

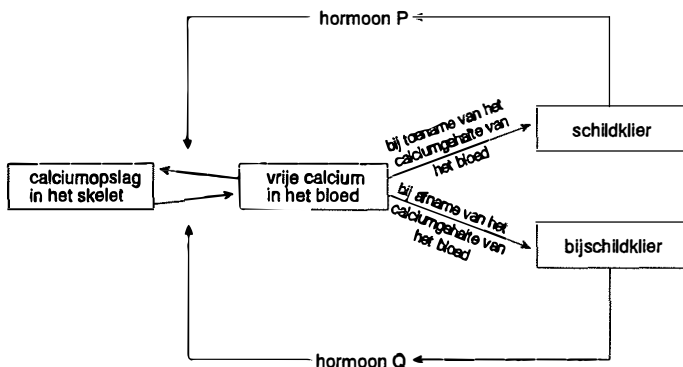
5. Lees onderstaande tekst.

Tussen maag en twaalfvingerige darm ligt de portier, de spier die de doorgang tussen maag en twaalfvingerige darm gesloten kan houden. Het gesloten houden van de portier komt via de portierreflex tot stand. Verschillende prikkels zijn verantwoordelijk voor deze reflex. Het voedsel dat de twaalfvingerige darm vult rekt de wand uit. Dit is een van de prikkels voor deze reflex. Verder prikkelt de door het maagsap zuur geworden inhoud van de twaalfvingerige darm de zenuwuiteinden van de twaalfvingerige darm. Deze zenuwuiteinden zijn het begin van een reflexbaan. De prikkels voor deze reflex verdwijnen zodra het zuur geneutraliseerd is door het bicarbonaat uit het alvleessap en zodra het voedsel verder wordt vervoerd, waardoor de rekking van de wand verdwijnt. De portier kan dan weer even open.

Maak van dit proces een regelkringschema.

Is dit een homeostatische regulatie, of niet. Leg uit.

6. Het onderstaande schema stelt een deel van de calciumhuishouding bij de mens voor.



- Van welk hormoon zal na een calciumrijke maaltijd de afgifte aan het bloed toenemen ?
- Is in dit schema sprake van negatieve feed-back ? Leg je antwoord uit.
- Is deze regulatie een voorbeeld van een *homeostatische* regulatie ? Motiveer je antwoord.
- Ga met behulp van je voorgaande antwoorden na of je dit schema in orde vindt. Leg je antwoord uit.

7. Geef in je eigen woorden een omschrijving of definitie van het begrip 'homeostase'.
Als je in je antwoord 'vaktermen' gebruikt moet je die uitleggen.
8. De werkbijen in een bijenvolk leven in het zomerseizoen ongeveer zes weken. Tijdens hun leven vervullen ze achtereenvolgens een aantal functies. Eerst bewaken en verzorgen ze gedurende twee dagen de temperatuur van het broed, daarna zijn ze tien dagen actief als voedsterbij, de volgende acht dagen werken ze als bouwbij. Tenslotte werken ze ongeveer twintig dagen als haalbij: ze brengen honing en stuifmeel van buiten naar binnen.

Ondersteunen deze gegevens het idee dat een bijenvolk als een superorganisme kan worden beschouwd ? Licht je antwoord toe.

SUMMARY

This dissertation reports on a field study into biology education at the upper secondary level, and aims at improving the quality of the teaching and learning the concept of regulation and of homeostasis in particular. These concepts have come to figure more prominently in the new Dutch national final examination program. Because there seems to be neither tradition nor theory to support the schooling in these concepts, a curriculum on regulation and homeostasis has been developed, supported and fed by research activities.

The *first, introductory, chapter* gives an overview of the previous history and the components of this study: an orientation to the basic principles of biology education (Ch.2), a survey of literature on the concept of homeostasis (Ch.3), two pilot studies on students' preconceptions on regulation and homeostasis (Ch.4), the new curriculum design (Ch.5), classroom-research on learning outcomes of working with the new curriculum (Ch.6) and an evaluation of the study as a whole (Ch.7).

In the *second chapter* the basic principles of biology education are explored and outlined. Besides the necessity of adapting to the examination program, principles have been chosen from biological and educational viewpoints. This means that the curriculum aims at a faithful representation of the specific characteristics and features of the discipline by using the organicist view of life as a framework for the biological content. From an epistemological point of view a constructivist approach to teaching and learning has been chosen.

It is concluded that -before using these principles in designing the curriculum- further research is necessary on the specific disciplinary content of the concepts regulation and homeostasis, and on students' preconceptions about regulation.

The *third chapter* reports on a broad survey of literature on the position and content of the concept of homeostasis, as presented in scientific literature. It is concluded that the concept of homeostasis refers both to results and processes of regulation, based on feed-back mechanisms with system-incorporated set point. For educational reasons, it is recommended to distinguish between homeostasis and homeostatic regulation, and to restrict the use of these concepts to the systems level of organisms. Furthermore it is concluded that an insight into the interaction of the system with its environment is essential for understanding the concept of homeostasis.

In the *fourth chapter*, the outcomes of research into students' ideas and preconceptions on regulation and homeostasis in particular are reported. The first pilot study shows that students have many ideas about regulation and -specifically- regulation of their own body temperature. It is concluded that there is a general awareness of regulation, but insight into the biological function (or necessity) of regulation is lacking. Many students argued about regulation from a black-box view of their own body. A second pilot study proved to be productive both in clarifying students' own knowledge and in working with and sharing this knowledge with fellow students. It is concluded that some procedures tested in these pilot studies are candidates for inclusion into the curriculum.

The *fifth chapter* deals with the process of designing the curriculum: the principles and the outcomes of the research mentioned earlier are translated into student materials for use in the classroom. In this design, entitled 'Surviving by regulation' ('Geregeld overleven'), a systems approach is used to illustrate regulation at the levels of cells, organisms and populations. In the materials, information and tasks are mixed, mainly aiming at having students work with their personal knowledge of regulation and homeostasis.

The *sixth chapter* reports on a longitudinal study carried out to describe and analyse procedures and learning outcomes of using the student materials 'Surviving by regulation' in biology classrooms. Students and teachers were asked about their experiences with the classroom materials. The responses were mainly positive.

The development of students' knowledge was monitored during a period of about four months by pre-testing and post-testing their insights into the main aspects of regulation and homeostasis, as contained in the student texts. From the results, it was concluded that -generally- all students showed knowledge progression on some of the various aspects. About 32% of the students succeeded in achieving expert knowledge of regulation and homeostasis.

The final, *seventh chapter* looks back on the study as a whole, and presents perspectives on options and possibilities for improving future biology education.

Based on the results, reported in chapter 6, it is concluded that this systems-approach-based curriculum on regulation and homeostasis is feasible. Some specific recommendations for improving the learning outcomes are made. These emphasize the need for elaboration of the principles of regulation and homeostasis mainly at the level of organisms and to improve the effectiveness of the materials.

For improving biology education in general, it is recommended to make use of the organicist view of life as a framework for reconsidering and (re)structuring future biology education programs in The Netherlands and to emphasize the position of the systems level of organisms in these programs.

CURRICULUM VITAE

Johannes Buddingh' werd geboren op 31 oktober 1942 te Almelo, doorliep de School met de Bijbel te Wierden en bezocht vervolgens het Christelijk Lyceum te Arnhem, waar het Diploma HBS-B werd behaald in 1960. Vanaf dat jaar studeerde hij biologie aan de Rijksuniversiteit te Leiden. Van het doctoraalexamen biologie dat met goed gevolg werd afgelegd op 31 oktober 1967, maakten deel uit onderwerpen op het terrein van de diersystematiek en -geografie, de dieroecologie en de experimentele plantensystematiek, alsmede de eerstegraads onderwijsbevoegdheid.

Van 1967 tot 1972 werkte hij als leraar biologie aan het Christelijk Lyceum en Atheneum te Arnhem en van 1972-1974 aan het Revis Lyceum te Doorn. In deze periode was hij tevens lid van de redactie van *Ardea*, wetenschappelijk tijdschrift van de Nederlandse Ornithologische Unie.

Vanuit de eerstgenoemde werkkring in het voortgezet onderwijs aanvaardde hij in 1972 een functie als wetenschappelijk medewerker aan het Pedagogisch-Didactisch Instituut voor de Lerarenopleiding (PDI) aan de Rijksuniversiteit te Utrecht. In deze functie was hij als vakdidacticus biologie daadwerkelijk betrokken bij het ontwikkelen en uitvoeren van de Utrechtse full-time eerstegraads lerarenopleiding. Tevens maakte hij toen deel uit van de redactie van het Bulletin voor Docenten in de Biologie.

Van 1981 - 1984 was hij vanuit het PDI gedetacheerd bij het Bureau van de Universiteit en werkte als ambtelijk secretaris van de Bestuurscommissie Lerarenopleiding mee aan de beleids-, organisatie- en programmaontwikkeling van de beoogde nieuwe post-doctorale lerarenopleiding van de Utrechtse universiteit.

Vanaf 1984 was hij weer actief als lerarenopleider en vakdacticus biologie en ging -in het kader van de inmiddels gevormde vakgroep Didactiek van de Biologie- meewerken in het vakdidactische onderzoeksprogramma van deze vakgroep, waarvan dit proefschrift een van de produkten is.

Tevens ging hij vanaf 1989 -als ambtelijk secretaris van de interfacultaire Begeleidingscommissie IVLOS- actief deelnemen aan de vorming en beleidsontwikkeling van het Interfacultair Instituut voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Studievaardigheden (IVLOS), waarin de voormalige eenheden PDI, Afdeling O & O van O (O3) en Bureau Studievaardigheden zijn samengebracht.

In de laatste jaren werden de bovengenoemde onderzoeks- en bestuurstaken gecombineerd met advies- en docenttaken op het terrein van het Hoger Onderwijs. Deze activiteiten betroffen onderwijsontwikkelingsprojecten in de faculteiten Biologie en Farmacie, en de cursus Basisdidactiek voor HBO-docenten, die door het IVLOS wordt gegeven.

NAWOORD

Het promotieonderzoek waarvan in dit proefschrift verslag wordt gedaan, heeft zich uitgestrekt over een aantal jaren. De medewerking die ik daarbij heb ondervonden van mijn promotor Prof.Dr.Peter Voogt was onmisbaar: veel heb ik kunnen leren van zijn brede vak-bekwaamheid en ik dank hem voor zijn nauwgezette en kritische bijdragen aan mijn onderzoek. Mijn promotor Prof.Dr.Theo Wubbels dank ik voor zijn inbreng en steun met name in de laatste fase van het onderzoekstraject: de wijze waarop hij heeft mee- én tegengedacht was voor mij een beslissende stimulans.

Zonder de medewerking van de mensen in school, leerlingen en docenten, was dit onderzoek niet mogelijk geweest. Ik bedank de leerlingen van de scholen die aan het onderzoek hebben meegewerkt: het Dr.F.H.de Bruijnelyceum te Utrecht, het Merewade College te Gorinchem, de S.G De Randdijk te Nieuwegein, de K.S.G De Breul te Zeist en het Oosterlicht College te Nieuwegein, en voorts hun biologiedocenten: Drs.Ad van Noort, Drs.Gerard Blok, Drs.Nol Duindam, Drs.Jan Duiverman en Drs.Rinus v.d.Heijkant. Beide laatstgenoemden en collega Drs.Marcel Kamp dank ik ook voor de vruchtbare samenwerking waaruit het onderwijsontwerp voortkwam. Op verschillende momenten hebben doctoraal-studenten biologie aan het onderzoek deelgenomen. Van hen wil ik met name Drs. Corinne van Velzen danken voor haar originele en enthousiaste bijdrage aan het onderwijsexperiment, Drs. Keelin O'Connor voor haar inzet bij het verkennen van leerlingdenkbeelden en Drs.Edwin Schrik voor zijn nauwgezette verwerking van de proefwerkresultaten.

Voorts dank ik Dr.Alex Schuurmans die in een moeilijke fase van het onderzoek niet alleen zijn deskundigheid inzette bij het verwerken en analyseren van onderzoeksgegevens, maar bovenal zijn vriendschap toonde.

Voor methodologische adviezen en ondersteuning op het terrein van statistiek dank ik Dr.Mieke Brekelmans en Dr.Wilfried Admiraal, voor het op orde brengen van de Engelse samenvatting Drs.Leen Don, en voorts Drs.Rob Houwen, Ad Vianen en Jenny Andriese voor hun daadwerkelijke hulp bij het illustreren en opmaken van dit proefschrift. De controle van de paginering en de literatuurverwijzingen heb ik met een gerust hart aan Roos Buddingh' overgelaten.

Een langdurige onderneming als in dit proefschrift is beschreven, kan alleen voortgaan als de milieufactoren daaraan positief bijdragen. In dit verband dank ik in de eerste plaats het Bestuur van het IVLOS voor de ruimte die mij is geboden om deze promotietaak tot een goed einde te brengen. Ook dank ik de collega's van de vakgroep Didactiek van de Biologie, van het Centrum voor β -Didactiek en van het IVLOS die regelmatig blijf gaven van hun belangstelling voor onderzoek en onderzoeker. Van hen wil ik in het bijzonder noemen Muriël Daal, Cees van Driel, Theo Rensman en Ad Vianen.

Tenslotte: aan de basis van dit werkstuk staat een klein, levenslang samenwerkingsverband: dat met mijn vrouw Anneke van Harskamp. Ik dank haar voor haar kracht, warmte en liefde.