

C.Beefink

Met het oog op integratie

*Een studie over integratie van leerstof
uit de natuurwetenschappelijke vakken
in de tweede fase van het voortgezet onderwijs*



Overzicht van vragen ten behoeve van het Delphi-onderzoek

Vragenlijst-1

- 1 Tussen docenten in de biologie en docenten in de overige natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs is nauwelijks of geen sprake van enige vorm van vakinhoudelijke samenwerking.
- 2 Kunt u factoren noemen die het in de huidige praktijk nauwelijks of niet voorkomen van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs bewerkstelligen?
- 3 Kent u vormen van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs?
 - a Welke vorm heeft de u bekende vakinhoudelijke samenwerking?
 - b Bij welke onderwerpen vindt de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking plaats?
 - c Op welke school vindt de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking plaats?
 - d Welke effecten ziet u van de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking?
- 4 Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs is van wezenlijk belang.
- 5 Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs moet meer worden gestimuleerd.
- 6 In de bovenbouw van het voortgezet onderwijs is, mede gezien het niveau van de huidige eindexamenprogramma's, geen plaats voor een volledig geïntegreerde aanpak van de natuurwetenschappen.
- 7 Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs in de vorm van volledige vakkenintegratie is in de toekomst niet gewenst.
- 8 Het aanbieden van een aantal onderwerpen in de vorm van jaarlijks terugkerende kortdurende projecten lijkt een realistisch haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.
- 9 Het aanbieden van een aantal onderwerpen in de vorm van jaarlijks terugkerende, kortdurende projecten als vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen is gewenst.
- 10 De bovengeschetste vakkenverbinding is een realistisch haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.
- 11 Vakkenverbinding is als vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen gewenst.
- 12 De mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding zullen in de toekomst toenemen.
- 13 Daadwerkelijke vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding zal in de toekomst toenemen.
- 14 Welke middelen c.q. strategieën zijn naar uw mening bruikbaar voor het stimuleren van vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding tussen docenten in de natuurwetenschappen?
- 15 Kunt u factoren noemen die de vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen beïnvloeden (remmende c.q. bevorderende)?
- 16 Ziet u in de toekomst nog meer mogelijkheden (modellen) voor samenwerkingspraktijk tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs dan de reeds genoemde?
- 17 Vakoverschrijdende leerstofelementen als object van samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen dienen deel uit te maken van het schriftelijk eindexamenprogramma of de schoolonderzoeken.
- 18 Kunt u nog andere criteria noemen waaraan vakoverschrijdende leerstofelementen uit de natuurwetenschappen zouden moeten voldoen, willen zij geschikt zijn als object van vakinhoudelijke samenwerking?
- 19 Het oog is een voorbeeld van een onderwerp met vakoverschrijdende leerstofelementen dat zich goed leent voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.
- 20 Kunt u nog meer onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen noemen die zich bij uitstek lenen voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen, in de vorm van vakkenverbinding, in voortgezet onderwijs?
- 21 Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen (bijvoorbeeld bij de behandeling van het oog) bevordert begripsvorming bij leerlingen.
- 22 Verwacht u eventueel nog andere effecten van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen?

Vragenlijst-2: specifiek deel

- 6 Vakinhoudelijke samenwerking is een brug naar realistisch onderwijs - gericht op 'werkelijkheid en samenleving' - dat meestal vakoverschrijdend is.
- 7 Bij training van algemene vaardigheden - zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen - is vakinhoudelijke

lijke samenwerking gewenst.

- 8 Het zo mogelijk betrekken van andere vakken bij de samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen is gewenst.
- 9 Volledige integratie leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke natuurwetenschappelijke vakken.
- 10 Op een doorsnee school voor voortgezet onderwijs is het in de toekomst organiseren in de bovenbouw van kortdurende projecten met vakoverschrijdende leerstofelementen maar zeer beperkt mogelijk.
- 11 Vakkenverbinding is gewenst bij het aan de orde stellen van bepaalde vakoverschrijdende leerstofonderdelen.
- 12 Vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding leidt niet tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken.
- 13 Er zijn 'cultuurverschillen' tussen docenten van de verschillende natuurwetenschappen (zij spreken een verschillende taal ten aanzien van de doelen van het vakonderwijs, de inhoud en het belang van bepaalde begripsdefinities).
- 14 Mogelijke 'cultuurverschillen' tussen docenten in de natuurwetenschappelijke vakken hebben geen remmende invloed op samenwerking.
- 15 Het ontwikkelen van op samenwerking inspelend lesmateriaal (goed uitgewerkte interdisciplinaire leerstofelementen) is een noodzakelijke voorwaarde voor vakinhoudelijke samenwerking.
- 16 Meer aandacht voor algemene vaardigheden (bijvoorbeeld het leggen van verbanden of probleemoplossen) en onderzoeksvaardigheden (bijvoorbeeld het opzetten van een onderzoek) bevordert vakinhoudelijke samenwerking.
- 17 Ontwikkelingen op het gebied van vakinhoudelijke samenwerking in de Basisvorming zullen samenwerking in de toekomstige bovenbouw bevorderen.
- 18 Het vak Algemene Natuurwetenschappen moet bij voorkeur worden gegeven door één docent.
- 19 Voor toekomstige docenten Algemene Natuurwetenschappen is adequate (na)scholing met bevoegdheidsverklaring noodzakelijk.
- 20 Het invoeren van het studielastprincipe biedt meer mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen.
- 21 Dwingend voorschrijven van vakinhoudelijke samenwerking is niet raadzaam.
- 22 Voor een goede ontwikkeling van vakinhoudelijke samenwerking moet er eerst een didactiek worden ontwikkeld op basis van onderzoek.
- 23 Vakoverschrijdende leerstofelementen moeten aangeboden worden in thema's die gekoppeld worden aan praktijkvoorbeelden die voor de lerende van persoonlijk en/of maatschappelijk belang (kunnen) zijn.
- 24 Voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding zijn (bepaalde aspecten van) de volgende onderwerpen bij uitstek geschikt: *Milieu; Gezondheid; Voeding; Ziekten als aids, kanker, struma, diabetes; Werking van geneesmiddelen; Toxicologie; Biochemie; Chemische reacties; Sport, houding en beweging; Mechanica en beweging; Begrip energie; Biotechnologie; Oor; Oog; Electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransport; Hart, circulatie; Kringlopen; Fotosynthese; Landbouw; Bodem; Materialen: stevigheid, chemische samenstelling, structuren-bouwelementen, mechanica; Water in levende- en levenloze natuur; Oecologie; Algemene- en onderzoeksvaardigheden; Microscopie: optica, cellen; Geschiedenis van de natuurwetenschappen.*
- 25 Welke drie van de bovenstaande onderwerpen vindt u, in volgorde van belangrijkheid, het meest geschikt voor vakinhoudelijke samenwerking?
- 26 Leraren moeten ingeschakeld worden bij het ontwikkelen van lesmateriaal voor onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen.
- 27 Het inschakelen van professionele leerstofontwikkelaars bij vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen bevordert samenwerking tussen deze docenten.
- 28 Het gebruik van geschikt lesmateriaal over onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen kan begripsvorming bij docenten bevorderen.
- 29 Wanneer bij docenten de in de vorige stelling genoemde begripsvorming optreedt, zal ook bij hun leerlingen sprake zijn van toenemende begripsvorming.
- 30 'Gezondheid en ziekte' is een bij uitstek geschikt contextgebied waarbinnen onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen als object voor samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen aan de orde kunnen komen.
- 31 Vakinhoudelijke samenwerking doorbreekt de systeemscheiding tussen de verschillende vakdisciplines.
- 32 Vakinhoudelijke samenwerking leidt tot een beter beeld van de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze.
- 33 Vakinhoudelijke samenwerking leidt tot een beter inzicht in de gemeenschappelijke aspecten ('de complementariteit') van de wetenschappelijke denk- en werkwijze in de afzonderlijke natuurwetenschappen.
- 34 Vakinhoudelijke samenwerking is gunstig bij training van algemene vaardigheden, zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen.
- 35 Vergeleken met een situatie van gescheiden vakken, leidt vakinhoudelijke samenwerking tot een betere begripsontwikkeling bij leerlingen.
- 36 Vakinhoudelijke samenwerking maakt het mogelijk realistischer leercontexten te kiezen.
- 37 Vakinhoudelijke samenwerking vergroot de bereidheid tot veranderingen bij docenten.
- 38 Vakinhoudelijke samenwerking verhoogt de arbeidssatisfactie van docenten.

Met het oog op integratie

Een studie over integratie van leerstof
uit de natuurwetenschappelijke vakken
in de tweede fase van het voortgezet onderwijs

Vakgroep Didactiek van de Biologie
Universiteit Utrecht
Princetonplein 5
3584 CC UTRECHT
tel.: 030-253 5450 / fax: 030-253 7494

CD-β Wetenschappelijke Bibliotheek

Onder redactie van:

P.L. Lijnse
A. Treffers
W. de Vos
A.J. Waarlo

- 1 Didactiek in Perspectief - P.L. Lijnse, W. de Vos, red.
- 2 Radiation and Risk in Physics Education - H.M.C. Eijkelhof
- 3 Natuurkunde-onderwijs tussen Leefwereld en Vakstructuur - R.F.A. Wierstra
- 4 Een Onverdeelbare Eenheid - M.J. Vogelezang
- 5 Betrokken bij Evenwicht - J.H. van Driel
- 6 Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Secondary Science Education - P.L. Lijnse, P. Licht, W. de Vos, A.J. Waarlo, eds.
- 7 Kwaliteit van Kwantiteit - H.E. Elzinga
- 8 Interactieve Video in de Nascholing Reken-wiskunde - F. van Galen, M. Dolk, E. Feijs, V. Jonker, N. Ruesink, W. Uittenbogaard
- 9 Realistic Mathematics Education in Primary Schools - L. Streefland, ed.
- 10 Ontwikkeling in Energieonderwijs - A.E. van der Valk
- 11 Methoden in Reken-wiskundeonderwijs - K. Gravemeijer, M. van den Heuvel-Panhuizen, G. van Donselaar, N. Ruesink, L. Streefland, W. Vermeulen, E. te Woerd, D. van de Ploeg
- 12 De volgende Opgave van de Computer - J. Zuidema en L. Van der Gaag
- 13 European Research in Science Education - P.L. Lijnse, ed.
- 14 Realistic Mathematics Education - K. Gravemeijer
- 15 De Grafische Rekenmachine in het Wiskundeonderwijs - L.M. Doorman, P. Drijvers, M. Kindt
- 16 Making sense - Simulation-of-Research in Organic Chemistry Education - H. Van Keulen
- 17 Perspectives on Research in Chemical Education - O. de Jong, P.H. van Roon, W. de Vos, eds.
- 18 A Problem-Posing Approach to Teaching the Topic of Radioactivity - C.W.J.M. Klaassen
- 19 Assessment and Realistic Mathematics Education - M. van Heuvel-Panhuizen
- 20 Teaching structures in chemistry - An Educational Structure for Chemical Bonding - G.M. van Hoeve-Brouwer
- 21 Regulatie en homeostase als onderwijsthema: een biologie-didactisch onderzoek - J. Buddingh'
- 22 Over Natuurkundedidactiek, Curriculumontwikkeling en Lerarenopleiding - P.L. Lijnse en Th. Wubbels, red.
- 23 Integratie en Toepassing van Biologische Kennis - Ontwikkeling en onderzoek van een Curriculum rond het thema 'Lichaamsprocessen en Vergift' - H. Roebertsen
- 24 Het thema 'reproductie' in het schoolvak biologie - P.C.F. Reygel
- 25 Teaching Electrochemical Cells - A study on Teachers Conceptions and Teachers Problems in Secondary Education - J.J.C. Acampo
- 26 The Role of Context and Models in the Development of Mathematical Strategies and Procedures - K. Gravemeijer
- 27 Thermodynamica leren onderwijzen - H. Kaper
- 28 Interesse-geïntereerd natuur- en scheikundeonderwijs - Een studie naar onderwijsontwikkeling op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer - R.J. Genseberger
- 29 Flexibilisation of mental arithmeticsstrategies on a different knowledge base - The empty number line in realistic versus gradual program design - A.S. Klein
- 30 A Problem Posing Approach to Teaching an Initial Particle Model - M.J. Vollebrect
- 31 Met het oog op integratie - Een studie over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase van het voortgezet onderwijs - C. Beeftink
- 32 Verschillen tussen meisjes en jongens bij het vak rekenen-wiskunde op de basisschool - Eindrapport MOOJ-onderzoek - M. van den Heuvel-Panhuizen en H.J. Vermeer
- 33 Van vormleer naar realistische meetkunde - Een historisch-didactisch onderzoek van het meetkundeonderwijs aan kinderen van vier tot veertien jaar in Nederland gedurende de negentiende en twintigste eeuw - E.W.A. de Moor
- 34 Ontwerpend leren in het biologieonderwijs - Uitgewerkt en beproefd voor immunologie in het voortgezet onderwijs - F.J.J.M. Janssen
- 35 Natuur in pluralistisch perspectief - Theoretisch kader en voorbeeldlesmateriaal voor het omgaan met een veelheid aan natuurbeelden - M. Margadant-van Arcken en C.S. van den Berg

Met het oog op integratie

**Een studie over integratie van leerstof
uit de natuurwetenschappelijke vakken
in de tweede fase van het voortgezet onderwijs**

With an eye to integration

**Integration of subject matter from natural sciences
in Dutch upper grade secondary education
focussed on the eye
(with a summary in English)**

Proefschrift

**Ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Universiteit Utrecht
op gezag van de Rector Magnificus
prof. dr. H.O. Voorma
ingevolge het besluit van het College voor Promoties
in het openbaar te verdedigen
op woensdag 24 mei 2000 des middags te 12.45 uur**

door

Christiaan Beeftink

geboren op 31 december 1933 te Lochem

CD- β Press Utrecht

Promotor: Prof. Dr. P.A. Voogt
Faculteit Biologie Universiteit Utrecht

Co-promotor: Dr. C.P. Koetsier
Faculteit Biologie/Faculteit Sociale Wetenschappen
Universiteit Utrecht

Beeftink, Christiaan

Met het oog op integratie - Een studie over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase van het voortgezet onderwijs / C. Beeftink - Utrecht CD-β Press, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht (CD-β Wetenschappelijke Bibliotheek, nr. 31).

Proefschrift Universiteit Utrecht. - Met literatuuropgave. - Met samenvatting in het Engels.

ISBN 90-393-1929-4

Trefwoorden: integratie van leerstofonderdelen; natuurwetenschappen; oog; probleemgestuurd leren; vakinhoudelijke samenwerking; tweede fase voortgezet onderwijs.

Druk: Febodruk BV, Enschede

Copyright: C. Beeftink, Utrecht 2000

*dissipantur cogitationes ubi non est consilium
ubi vero plures sunt consilarii confirmantur*
(Spreuken 15:22)

*aan Elly
en ter nagedachtenis
van mijn ouders*

Inhoudsopgave

1. Achtergronden en probleemstelling van het onderzoek

- 1.1 Inleiding *1*
- 1.2 Aard van de biologie *1*
- 1.3 Betekenis van integratie voor leerlingen *5*
- 1.4 Effecten van onderwijsvernieuwingen op integratie *5*
- 1.5 Probleemstelling en onderzoeksvragen *8*
- 1.6 Typering van het onderzoek *9*

2. Literatuurgegevens over integratie van leerstof

- 2.1 Inleiding *11*
- 2.2 Opzet van de literatuurstudie *11*
- 2.3 Integratie in de literatuur *13*
 - 2.3.1 Vormen van integratie *13*
 - 2.3.2 Effecten van integratie *15*
 - 2.3.3 Integratie beïnvloedende factoren *19*
 - 2.3.4 Motieven pro en contra integratie *25*
- 2.4 Nederlandse praktijkvoorbeelden van integratie van leerstof *29*
 - 2.4.1 Praktijkvoorbeelden in de bovenbouw *29*
 - 2.4.2 Praktijkvoorbeelden in de onderbouw *32*
- 2.5 Typologie van vormen van integratie van leerstof *37*
- 2.6 Bespreking van de uitkomsten van de literatuurstudie en beantwoording van onderzoeksvraag A *45*
 - 2.6.1 Vormen van integratie *46*
 - 2.6.2 Onderwerpen bij integratie *47*
 - 2.6.3 Effecten van integratie *48*
 - 2.6.4 Integratie beïnvloedende factoren *51*
 - 2.6.5 Motieven pro en contra integratie *60*
- 2.7 Balans van de literatuurstudie *63*

3. Meningen van deskundigen over integratie van leerstof

- 3.1 Inleiding *65*
- 3.2 Opzet van het Delphi-onderzoek *66*
- 3.3 Resultaten van vraagronde-1 *69*
 - 3.3.1 Kwantitatieve resultaten *69*
 - 3.3.2 Kwalitatieve resultaten *73*
- 3.4 Bespreking van de resultaten van vraagronde-1 en consequenties voor vraagronde-2 *77*

- 3.5 Resultaten van vraagronde-2 79
 - 3.5.1 Resultaten van het algemene deel van vraagronde-2 79
 - 3.5.2 Kwantitatieve resultaten van het specifieke deel van vraagronde-2 80
 - 3.5.3 Kwalitatieve resultaten van het specifieke deel van vraagronde-2 88
- 3.6 Samenvatting van het voorgaande en terugblik op de uitvoering van het Delphi-onderzoek 94
 - 3.6.1 Samenvatting van het voorgaande 94
 - 3.6.2 Terugblik op de uitvoering van het Delphi-onderzoek 96
- 3.7 Consequenties voor het vervolgonderzoek 98
 - 3.7.1 Een handreiking voor docenten 98
 - 3.7.2 Keuze van een thema voor het leerstofontwerp 99
 - 3.7.3 Gedragsbeïnvloeding volgens Ajzen & Madden 103
 - 3.7.4 Uitkomsten van het onderzoek in relatie tot het gepresenteerde model 106

4. Het in de praktijk ontwikkelen van geïntegreerde leerstof

- 4.1 Inleiding 109
- 4.2 Proces van samenwerking bij het ontwikkelen 110
- 4.3 Onderwerpkeuze 115
- 4.4 Inhoudelijke context voor integratie van leerstof over het oog 117
 - 4.4.1 Uitgangspunten voor de eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken 117
 - 4.4.2 Mogelijkheden voor integratie van leerstof-onderdelen 118
- 4.5 Didactische context van het leerstofontwerp 122
 - 4.5.1 Probleemgestuurd leren in het voortgezet onderwijs 122
 - 4.5.2 Probleemgestuurd leren en het studiehuis 125
- 4.6 Misconcepties betreffende het oog 128
 - 4.6.1 Misconcepties in de optica 128
 - 4.6.2 Misconcepties met betrekking tot het oog 130
- 4.7 Keuze van de vorm van het leerstofontwerp 131
- 4.8 Didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp 135
- 4.9 Wijze van uitwerking van het leerstofontwerp 138
 - 4.9.1 Constructie van probleemtaken 138
 - 4.9.2 Procedure voor het hanteren van probleemtaken 140
 - 4.9.3 Uitwerking van het leerstofontwerp in hoofdlijnen 141
- 4.10 Leerstofontwerp 143
- 4.11 Reflectie op het leerstofontwerp en op het proces van samenwerking 163
 - 4.11.1 Reflectie op het leerstofontwerp 163
 - 4.11.2 Toetsing van het leerstofontwerp aan de didactische uitgangspunten 170
 - 4.11.3 Reflectie op het proces van samenwerking 172

- 4.12 Verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp 175
 - 4.12.1 Meningen van biologiedocenten 175
 - 4.12.2 Meningen van deskundigen van het planniveau 178
- 4.13 Empirische toetsing van de probleemtaken 185
 - 4.13.1 Opzet van de empirische toetsing 186
 - 4.13.2 Voorbereiding op het uitvoeren van de probleemtaken 187
 - 4.13.3 Uitvoering van de probleemtaken en bespreking ervan 188
 - 4.13.4 Pre- en posttest 193
 - 4.13.5 Kanttekeningen bij de uitvoering van de probleemtaken in de klas 201
 - 4.13.6 Beantwoording van de onderzoeksvraag met betrekking tot de empirische toetsing 204

5. Slotbeschouwing

- 5.1 Factoren die van invloed waren op de intentie tot het gezamenlijk ontwikkelen en/of uitvoeren van geïntegreerde leerstof 209
- 5.2 Enkele bevindingen uit ons onderzoek in het licht van recente literatuurgegevens 214
- 5.3 Opbrengsten van het onderzoek en aanbevelingen voor verder onderzoek 219

Literatuur 225

Bijlagen 239

- Bijlage 1. Geraadpleegde bronnen 241
- Bijlage 2. Vragenlijst-1 ten behoeve van het Delphi-onderzoek 243
- Bijlage 3. Vragenlijst-2 ten behoeve van het Delphi-onderzoek 249
- Bijlage 4. Weergave van resultaten van vraag 18 uit vraagronde-1 van het Delphi-onderzoek 261
- Bijlage 5. Weergave van resultaten van vraag 15 uit vraagronde-2 van het Delphi-onderzoek 263
- Bijlage 6. Het oog als onderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking 265
- Bijlage 7. Zien van voorwerpen en beeldvorming 267
- Bijlage 8. Procedure voor probleemgericht onderwijs 269
- Bijlage 9. De leeskaart 271
- Bijlage 10. Zichtbare lichtbundels 273
- Bijlage 11. Suggesties voor probleemtaken 275
- Bijlage 12. Resultaten van de draagvlakverkenning bij biologiedocenten 289
- Bijlage 13. Resultaten van de draagvlakverkenning bij deskundigen van het planniveau 293
- Bijlage 14. Suggesties voor verbetering van het leerstofontwerp 299

Bijlage 15. Pre/posttest 305

Summary 307

Curriculum vitae 313

Woord van dank 315

1. Achtergronden en probleemstelling van het onderzoek

1.1 Inleiding

De studie waarvan in dit proefschrift verslag wordt gedaan, maakt deel uit van het onderzoek van de vakgroep Didactiek van de Biologie. Eén van de doelstellingen van het onderzoek van deze vakgroep is het leveren van een bijdrage tot verbetering van het biologieonderwijs in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs.

Deze studie heeft betrekking op het - in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen - integreren van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken voor de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs. In onze visie is integratie van leerstof met het oog op de leerling zeer gewenst. In ons onderwijsbestel is er - met name in de hoogste leerjaren - geen ruimte voor integratie van de natuurwetenschappelijke vakken over hun volle breedte. Het integreren van leerstofonderdelen uit de verschillende disciplines lijkt echter wel mogelijk.

Onze veronderstelling dat het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof voor de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs bijdraagt tot verbetering van het biologieonderwijs c.q. van het onderwijs in de overige natuurwetenschappelijke vakken, is gebaseerd op de aard van de biologie als wetenschap en op de betekenis van integratie voor de leerlingen.

Voor wat betreft de biologie, zijn we van mening dat integratie direct en onontkoombaar voortvloeit uit de aard van de biologie en haar positie ten opzichte van de andere natuurwetenschappen. In § 1.2 werken we dit punt verder uit. Omdat we veronderstellen dat een geïntegreerd leerstofaanbod in het belang van de leerlingen is, gaan we daar in § 1.3 nader op in. Daar de herstructurering van de tweede fase voortgezet onderwijs inmiddels is gestart, gaan we in § 1.4 na welke effecten deze ingrijpende wijziging heeft op de mogelijkheden voor integratie. In § 1.5 wordt duidelijk welk probleem zich bij de integratie van leerstof voordoet en welke onderzoeksvragen we hieruit hebben afgeleid. Tot slot geven we in § 1.6 een typering van het onderzoek.

1.2 Aard van de biologie

De biologie heeft zich in toenemende mate ontwikkeld tot een experimentele wetenschap. In biologisch onderzoek worden organismen bestudeerd vanaf de moleculaire aspecten ervan tot en met de ecosystemen waarvan zij deel uitmaken.

Een bioloog beschouwt - uitgaande van een systeemtheoretische opvatting - een organisme als een systeem dat bestaat uit een aantal hiërarchisch geordende sub- en sub-subsystemen en dat zelf weer deel uitmaakt van een hoger geordend systeem (Von Ber-

talarnffy, 1962; Maturana & Varela, 1987).

Bij de bestudering van de functies van een intact organisme begint de bioloog met waarnemingen. Deze waarnemingen geven aanleiding tot vragen naar een verklaring van de waargenomen verschijnselen. Bij zijn onderzoek van fysische en chemische processen in subsystemen hanteert de bioloog causale verklaringswijzen en geeft daarmee antwoord op een 'waardoor' vraag. Kenmerkend voor de biologie als wetenschap is de functionele verklaring die antwoord geeft op de vraag waartoe een bepaalde eigenschap dient. Een functionele verklaring wordt veelal beschouwd als een teleologische uitspraak, omdat ze aangeeft welke rol een bepaald deel van het organisme speelt in en welke bijdrage het levert aan de handhaving en/of de ontwikkeling van het gehele organisme (Soontiens, 1990). We illustreren voorgaande aan twee voorbeelden.

Een belangrijk kenmerk van veel organismen is de mogelijkheid om zichzelf te kunnen verplaatsen. Dergelijke bewegingen kunnen we - veelal in het kader van voedselvoorziening - al bij een enkele cel waarnemen. Zo kunnen amoeben zich - evenals witte bloedlichaampjes - voortbewegen door het vormen van uitstulpingen, schijnvoetjes. Andere eencelligen kunnen zich voortbewegen met behulp van trilharen of zweeepharen.

Veel complexer zijn de bewegingen van een roofdier dat een prooi bespringt. Springen vereist een ingewikkeld samenspel van zintuigen, zenuwstelsel en spieren. Het bespringen van een prooi is een doelgerichte, functionele beweging waarbij het hele lichaam is betrokken. Het roofdier kan bijvoorbeeld tijdens zijn sprong de onderlinge stand van zijn lichaamsdelen actief aanpassen en daardoor de wijze van neerkomen binnen zekere grenzen bepalen. Het springen is een individuele prestatie en de mate van perfectie hangt af van leeftijd en geoefendheid. Tot op zekere hoogte kan het roofdier zijn sprong aanpassen aan lichamelijke beperkingen ten gevolge van verwondingen of geordende leeftijd.

Wanneer een bioloog zijn onderzoek verplaatst naar een niveau lager dan dat van het totale organisme, dan kan hij onder meer nagaan welke spieren bij het bespringen van een prooi speciaal in actie komen en hoe hun werking daarbij valt te verklaren. Hij komt dan op het gebied van de functionele anatomie. Hij bepaalt bijvoorbeeld de aanhechting van de spieren die de bewegingen van de gewrichten mogelijk maken en onderzoekt de krachten die worden uitgeoefend op de samenstellende beenstukken van die gewrichten. Ook gaat hij na hoe deze krachten zich wijzigen bij verandering van de stand van het gewricht. Hierbij maakt hij gebruik van fysische onderzoeksmethoden, behorend tot het terrein van de mechanica.

De bioloog kan zijn onderzoek vervolgen met het prepareren van de skeletspieren. Macroscopisch is al te zien dat er witte en rode spieren zijn. De rode spieren zijn voornamelijk ingeschakeld bij het bewaren van de houding van het organisme. Ze oefenen geen grote kracht uit, maar moeten wel langdurig kunnen werken. Hierbij zou hun zuurstofvoorziening gevaar kunnen lopen. Bij microscopische analyse blijkt echter dat deze spieren rijk zijn voorzien van capillairen. De rode kleur van de spieren is te dan-

ken aan een grote hoeveelheid myoglobine, verwant met het hemoglobine in het bloed. Het myoglobine fungeert als een soort zuurstofaccu op het moment dat de zuurstofvoorziening tekortschiet. De opheldering van de structuur van het myoglobine en de wijze waarop het zuurstof kan binden, liggen op het terrein van de chemie. Witte spieren bevatten minder myoglobine en capillairen; het zijn de echte bewegingsspiers. Ze werken snel en zijn ook snel vermoeid. Het zijn vooral deze spieren die in actie komen wanneer het roofdier zijn prooi bespringt.

Uit microscopisch onderzoek blijkt tevens dat skeletspieren zijn opgebouwd uit spiervezels. Elke spiervezel bevat enkele honderden tot duizenden intracellulaire vezels. Om de submicroscopische bouw van deze vezels te kunnen doorgronden is elektronenmicroscopisch onderzoek nodig. Met behulp van chemische analyse kan men vervolgens een beeld krijgen van de moleculaire structuur die ten grondslag ligt aan die submicroscopische structuren.

Bekend is dat een spier zonder zenuwverbinding zijn functie niet kan uitoefenen. Ook de structuur blijft dan niet ongewijzigd, er treedt atrofie op. In het intacte organisme wordt een spier geactiveerd door zenuwimpulsen. Bij de prikkelgeleiding vindt een reeks van fysische en chemische processen plaats in de vorm van elektrische verschijnselen en uitwisseling van ionen. Door permeabiliteitsverandering van de celmembranen, veranderen zowel de ionenstromen als het elektrisch potentiaalverschil. De overdracht van de impuls van de zenuw op de spier is eveneens een complex proces, waarbij onder meer de stof acetylcholine is betrokken.

We kunnen de verwevenheid van de biologie met de fysica en de chemie ook verduidelijken aan de hand van de specifiek biologische vraag: 'Hoe is iets ontstaan?' Deze vraag ligt op het gebied van evolutie en ontogenese. Zo kunnen we vragen wat er gebeurt bij de overgang van ééncelligheid naar meercelligheid. Daartoe beschouwen we eerst een ééncellig organisme en gaan vervolgens na hoe cellen zich ten opzichte van elkaar gaan onderscheiden.

Een eencellig organisme is - evenals een meercellig organisme - een open systeem. Binnen zekere grenzen bezit een dergelijk organisme het vermogen om bij wisselende omgevingstoestanden - door middel van biochemische omzettingen en met behulp van fysiologische regelmechanismen - de interne condities te handhaven. Deze zogenoemde homeostase is bepalend om te kunnen overleven. Het meest opmerkelijke aan dit zelfregulerende systeem is dat de cel zelf weer het eindproduct is van zijn eigen stofwisseling. De cel produceert zichzelf: er is geen verschil tussen producent en product. Men zegt dat de cel een zichzelf vormend en instandhoudend, een autopoietisch systeem is; in dit geval van de eerste orde, dit in tegenstelling tot een meercellig organisme dat een autopoietisch systeem van de tweede orde wordt genoemd (vergelijk Voogt, 1989). Bij de overgang naar meercelligheid treedt er een taakverdeling op tussen cellen. Cellen differentiëren zich in een bepaalde vorm en specialiseren zich in een bepaalde functie en vergroten daarmee hun geschiktheid om die functie te vervullen. Specialisatie van cellen in een bepaalde functie gaat echter ten koste van andere func-

ties, de cel wordt minder universeel. De gespecialiseerde cel kan uiteindelijk nog slechts functioneren in een heel bepaalde setting van fysisch-chemische parameters. Dit betekent dat cellen slechts optimaal kunnen functioneren wanneer het interne milieu zo constant mogelijk wordt gehouden. Onderzoek van de verschillende grootheden die gezamenlijk het interne milieu bepalen en waarvan de waarden binnen zekere grenzen constant dienen te blijven, ligt op het terrein van fysica en chemie. Daarnaast treffen we op cellulair niveau regelmechanismen aan die het intracellulaire milieu bewaken. Hierbij speelt de celmembraan een actieve rol en bestaan er tal van nauwkeurig gestuurde intracellulaire regelprocessen op moleculair niveau. Deze laatste vormen het onderwerp van studie voor de biochemicus.

We hebben met deze twee voorbeelden geïllustreerd dat de bioloog bij zijn onderzoek is aangewezen op de chemie en de fysica. Deze disciplines zijn voor hem bekend terrein: 'Hij spreekt de taal.' Bij het onderzoek van complexere chemische en fysische processen zal hij echter te rade moeten gaan bij specialisten - onderzoekers op het terrein van chemie en fysica.

Wanneer de bioloog in zijn onderzoek afdaalt naar het niveau van de subsystemen - als het ware lagen van het systeem afpelt - krijgt hij onmiddellijk te maken met fysische en chemische processen. Bij het onderzoek van deze processen hanteert hij een analytische, reductionistische benadering. Het gaat dan om de 'wat' en 'hoe' vragen. Deze vragen liggen op het terrein van de fysica en de chemie en voor deze vragen worden causale verklaringen - waaraan een algemene wet ten grondslag ligt - als de enig juiste beschouwd.

Tevens blijkt uit het voorgaande dat het kunnen beschrijven van het functioneren van een organisme als geheel in fysisch-chemische termen en verklaringsmodellen niet toereikend is in de biologie. De biologie kan niet buiten teleologische verklaringen, omdat deze de eigen aard van de biologie als levenswetenschap betreffen en haar daarmee als autonome wetenschap kenschetsen. Een functionele verklaring geeft een antwoord op een 'waartoe' vraag. De 'waartoe' vraag heeft betrekking op de adaptieve betekenis van structuren en processen voor het hele organisme en voor de soort waartoe het behoort. Teleologie blijkt mede de eigenheid van de biologie te bepalen. De functionele verklaring geeft betekenis aan het functioneren van grotere gehelen, heeft wel degelijk een verklarende waarde en is aanvullend op de causale verklaring (vergelijk Voogt, 1995a,b).

De bioloog pendelt bij zijn onderzoek dus als het ware tussen enerzijds een reductionistische benadering van fundamentele processen en anderzijds het onderzoek naar de betekenis hiervan voor het organisme als geheel om zodoende de emergente eigenschappen ervan weer in beeld te krijgen.

Het zal duidelijk zijn dat bij biologisch onderzoek de inbreng van fysici en chemici onmisbaar is en dat een nauwe samenwerking tussen onderzoekers uit de drie natuurwetenschappelijke disciplines onontkoombaar is (Bernards & Bouman, 1988; Voogt, 1989, 1995a,b, 1996).

1.3 Betekenis van integratie voor leerlingen

In het voorgaande gaven we aan dat ons inziens integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken onontkoombaar voortvloeit uit de interdisciplinaire aard van de biologie als wetenschap.

Naar onze mening is integratie van daartoe geschikte onderwerpen of thema's uit de natuurwetenschappen in de bovenbouw van het vwo en havo onontbeerlijk, wanneer docenten hun onderwijs meer leerlinggericht willen maken. Leerlinggericht onderwijs houdt rekening met de ongedeelde belevings- en ervaringswereld van leerlingen. Een geïntegreerd leerstofaanbod sluit ons inziens het meest aan bij deze wereld. Van docenten in de natuurwetenschappen kan dan ook een positieve attitude worden verwacht ten aanzien van integratie. Het schoolvak biologie biedt goede mogelijkheden tot integratie, doordat het fysische en chemische leerstofelementen bevat.

Ook wanneer docenten in hun onderwijs aandacht willen schenken aan de maatschappelijke relevantie van het onderwijs in de natuurwetenschappen, ligt integratie voor de hand. Maatschappelijk relevante thema's - zoals het thema milieu - hebben gewoonlijk een interdisciplinair karakter. Een benadering van dergelijke thema's via een gescheiden vakkenaanbod is ons inziens dan ook niet toereikend. Integratie kan de leerlingen meer inzicht geven in de samenhang van de diverse natuurwetenschappelijke disciplines die een rol spelen bij interdisciplinaire thema's. Leerlingen worden met dergelijke thema's geconfronteerd bij het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen', waarbij wordt aangesloten bij hun belevings- en ervaringswereld (zie § 1.4).

Verder is het van belang dat leerlingen leren samenwerken. In de huidige geïndustrialiseerde en technologische samenleving is - als gevolg van vergaande specialisatie - samenwerking onontbeerlijk geworden. Een geïntegreerd leerstofaanbod bereidt leerlingen tevens voor op hun toekomstige functie in een maatschappij waarin beroepsbeoefenaars zich zelden beperken tot één discipline en als gevolg hiervan gewoonlijk samenwerken in teams. Docenten zullen hun leerlingen daarom ook moeten leren samenwerken. Een goede mogelijkheid hiervoor is in onze ogen het aanbieden van geïntegreerde leerstof in de vorm van door docenten ontwikkelde probleemtaken. Probleemtaken zijn interdisciplinair van aard en het zoeken naar oplossingen voor deze taken biedt naar onze mening goede mogelijkheden voor groepswerk van leerlingen, waarbij onder meer samenwerking kan worden geoefend.

1.4 Effecten van onderwijsvernieuwingen op integratie

Ook in het schoolvak biologie vinden we een verwevenheid van biologische, fysische en chemische aspecten. Wanneer een biologiedocent geïsoleerde processen in organismen ter sprake brengt, dan komt hij onmiddellijk op het gebied van de scheikunde en de natuurkunde. Goed biologieonderwijs is daarom niet denkbaar zonder de inbreng van de overige natuurwetenschappen. Gezien vanuit het schoolvak biologie zou het

streven naar integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken dan ook onomstreden moeten zijn.

Ons inziens zullen de mogelijkheden voor integratie met de invoering van de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs toenemen. Bij de herstructurering van de bovenbouw voortgezet onderwijs streefde de overheid er namelijk naar om meer samenhang te laten ontstaan tussen de vakken. Dit streven komt bijvoorbeeld tot uiting in het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en in de doorstroomprofielen. Hieronder geven we een korte karakteristiek van het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en het profiel 'Natuur en Gezondheid'. In dit profiel komen namelijk alle drie de natuurwetenschappen voor.

Algemene Natuurwetenschappen

Het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' is bestemd voor alle leerlingen en biedt hen de mogelijkheid om via een geïntegreerd leerstofaanbod kennis te nemen van de natuurwetenschappen in ongedeelde vorm (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995b).

De kern van het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' wordt gevormd door de ontwikkeling van de grote natuurwetenschappelijke ideeën binnen een historisch-filosofische en economisch-maatschappelijke context. Daarbij moeten de leerlingen aan de hand van voorbeelden ervaren hoe (natuur-)wetenschappen en techniek zich ontwikkelen. Eén van de uitgangspunten is dat in de gekozen thema's steeds alle drie de natuurwetenschappen - als het maar enigszins mogelijk en functioneel is - een rol dienen te spelen. Bovendien zal er een zekere samenhang tussen deze thema's moeten zijn. Het gaat in dit vak dus om het wezen van de natuurwetenschappen. Het beleid van de ingestelde vakontwikkelgroep was niet speciaal gericht op vakkenintegratie, maar wel op het nastreven van een haalbare samenhang tussen de vakken in de geboden context van de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. De uitdrukkelijke intentie van de vakontwikkelgroep was dat leerlingen zoveel als mogelijk vanuit objecten en verschijnselen in hun omgeving of binnen hun informatiebereik werken. Zoals uit de literatuurstudie zal blijken, sluit een samenhangend onderwijsaanbod het meest aan bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen.

Het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' wordt in principe gegeven door docenten biologie, natuurkunde, scheikunde of fysische geografie. Te verwachten is dat deze docenten bij dit onderwijs problemen zullen ondervinden op inhoudelijk en waarschijnlijk ook op didactisch gebied. Deze docenten zijn niet geschoold in een multidisciplinaire aanpak van een thema als 'grote natuurwetenschappelijke ideeën'. Daarom is er voor hen een nascholingsprogramma ontworpen. Inmiddels is een eerste lichte groep docenten - een experimentele groep - nageschoold. Op grond van hun ervaringen is het nascholingsprogramma bijgesteld. Vanaf september 1997 worden 1100 docenten in de gelegenheid gesteld deel te nemen aan het nascholingsprogramma. Hierdoor wordt de professionaliteit van de docenten verbreed op didactisch gebied en krijgen zij enig in-

zicht in aanpalende vakgebieden. Dit zal hen wellicht stimuleren tot vakinhoudelijke samenwerking, bijvoorbeeld in het profiel 'Natuur en Gezondheid'. De ontwikkelingen rond 'Algemene Natuurwetenschappen' kunnen dus in zekere zin worden beschouwd als faciliterend voor integratie van leerstofonderdelen.

Het profiel 'Natuur en Gezondheid'

Aan de bijna volledige vrijheid van vakkenkeuze in het huidige onderwijssysteem die vakinhoudelijke samenwerking in de weg staat, is een einde gekomen. Op overheidsniveau is besloten tot een drastische inperking van de vrijheid van vakkenpakketkeuze. Deze inperking komt tot stand door het aanbieden van vier zogenoemde doorstroomprofielen met vaste vakcombinaties in 1998 (Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, 1991, 1992; Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1994 a,b). Eén van de voorgestelde examenprofielen - 'Natuur en Gezondheid' - betreft een combinatie van biologie als kernvak en natuur- en scheikunde als deelvakken. Hierdoor ontstaan goede mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen en integratie van leerstofonderdelen.

Teneinde de samenhang tussen de examenprogramma's in het algemeen te vergroten, werden zogenoemde vakontwikkelgroepen ingesteld, waaronder de vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde. Deze vakontwikkelgroep stelde examenprogramma's op voor de drie natuurwetenschappen (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Vermeldenswaard is dat voor de eerste keer in de Nederlandse onderwijshistorie examenprogramma's voor biologie, natuurkunde en scheikunde in samenhang zijn ontwikkeld. De afzonderlijke vakken behouden overigens wel hun eigen plaats, maar er is veel aandacht besteed aan het gemeenschappelijke van en de samenhang tussen de vakken, conform één van de doelstellingen: 'Leerlingen verwerven kennis van en inzicht in de onderlinge samenhang van natuurwetenschappelijke beginselen, het belang ervan voor techniek en samenleving en de rol die de mens daarin speelt.' De vakontwikkelgroep merkt op dat er met de invoering van de profielen een nieuwe en effectieve manier ontstaat om samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken tot uiting te brengen. Deze samenhang blijkt onder meer uit de beschrijving van gemeenschappelijke vaardigheden en contextgebieden. Hoewel bij de ordening van de examenprogramma's is uitgegaan van de disciplinaire vakstructuur, benadrukt de vakontwikkelgroep dat de geformuleerde eindtermen in gemeenschappelijke, realistische contexten dienen te worden aangeleerd, toegepast en getoetst. Dit uitgangspunt leidde tot de keuze van vier vakgrensoverschrijdende contextgebieden, waaronder het contextgebied 'gezondheid'.

Het eindexamen bestaat uit een centraal examen en een schoolexamen. De opzet van het schoolexamen is voor de natuurwetenschappelijke vakken gelijk. Eén van de onderdelen van het schoolexamen is het profielwerkstuk. Bij dit werkstuk moeten ten minste twee van de natuurwetenschappelijke vakken zijn betrokken, waarmee het per definitie vakgrensoverschrijdend is.

We concluderen dat er in de vernieuwde tweede fase goede mogelijkheden in de randvoorwaardelijke sfeer zullen zijn voor integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken. Dit betekent echter nog niet dat deze integratie in de praktijk ook daadwerkelijk zal plaatsvinden. Hiervoor is meer nodig, zoals de beschikbaarheid van vakgrensoverschrijdende leerstof en ons inziens vooral de intrinsieke motivatie van docenten.

1.5 Probleemstelling en onderzoeksvragen

Docenten zullen geïntegreerde leerstof moeten ontwikkelen als zij willen aansluiten bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen om daarmee - naar we verwachten - de begripsontwikkeling van hen te bevorderen. We vermoeden dat integratie van leerstof in de praktijk weinig voorkomt, maar dat de wil daartoe bij docenten wel aanwezig is. Kennelijk zijn er belemmeringen die integratie van leerstofonderdelen in de weg staan, zoals tijdgebrek en daarmee samenhangend een geringe motivatie van docenten. Om een beeld te krijgen van de aard van deze belemmeringen en van factoren die de motivatie van docenten beïnvloeden, zullen we eerst nagaan welke gegevens in de literatuur zijn te vinden over integratie van leerstof. Verder zullen we deskundigen raadplegen uit diverse sectoren van het onderwijsveld om te onderzoeken in hoeverre de in de literatuur gevonden gegevens over integratie een rol spelen in de tweede fase van het voortgezet onderwijs voor en na invoering van het studiehuis. Ons onderzoek startte namelijk voor de invoering van de vernieuwde tweede fase. Ook zullen we nagaan of de verkregen gegevens kunnen worden ondergebracht in een model.

Centraal in dit proefschrift staat dan ook een onderzoek over het integreren van leerstofelementen uit de natuurwetenschappelijke vakken in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen in de tweede fase van het voortgezet onderwijs. We formuleerden hiervoor de volgende algemene vraagstelling.

Welke mogelijkheden zijn er voor integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase vwo en havo?

De doelstelling van het onderzoek is het leveren van een vakdidactische bijdrage aan de verhoging van de kwaliteit van het onderwijs in de natuurwetenschappen in de vernieuwde tweede fase van het voortgezet onderwijs.

Op basis van de algemene vraagstelling formuleerden we drie onderzoeksvragen betreffende integratie van leerstof in de bovenbouw van vwo en havo.

Onderzoeksvraag A: *Welke gegevens over integratie van leerstof worden aangetroffen in de literatuur?*

Onderzoeksvraag A zal worden beantwoord door middel van een onderzoek van de literatuur, bestaande uit twee onderdelen. Het eerste gedeelte betreft een onderzoek naar gegevens over integratie in de internationale en Nederlandse wetenschappelijke literatuur. In het tweede gedeelte van het onderzoek gaan we in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur na in hoeverre het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof door samenwerkende docenten in de natuurwetenschappen in het Nederlandse voortgezet onderwijs is beschreven. De opzet en de resultaten van de literatuurstudie zijn beschreven in hoofdstuk 2.

Onderzoeksvraag B: *Welke mening hebben deskundigen over integratie van leerstof in de huidige en toekomstige praktijk?*

Onderzoeksvraag B zal worden beantwoord via een Delphi-studie, een herhaalde raadpleging van deskundigen. Hiertoe zullen we deskundigen uit diverse sectoren van het voortgezet onderwijs benaderen, onder meer ervaren docenten in de natuurwetenschappen, vakdidactici en leden van de onderwijsinspectie. Deze studie dient een beeld op te leveren van opvattingen over integratie van leerstof in bestaande en toekomstige praktijk, en de mogelijke effecten daarvan op begripsontwikkeling bij leerlingen. De opzet en de resultaten van deze studie zijn beschreven in hoofdstuk 3.

Onderzoeksvraag C: *Welke kenmerken zou een ontwerp van geïntegreerde leerstof waarbij het zelfstandig leren van leerlingen wordt bevorderd, moeten hebben en hoe zou een dergelijk ontwerp in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen kunnen worden ontwikkeld?*

Onderzoeksvraag C betreft het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof in samenwerking met een aantal docenten in de natuurwetenschappen. De ontwikkelde leerstof dient als voorbeeld voor het planniveau, dat wil zeggen als voorbeeld voor deskundigen uit de verzorgingsstructuur, docenten in de natuurwetenschappen die tevens deel uitmaken van een auteursteam van schoolboekschrijvers en voor uitgevers. De opzet en de resultaten van dit onderdeel van het onderzoek worden beschreven in hoofdstuk 4.

1.6 Typering van het onderzoek

Het onderzoek is vakdidactisch van aard en betreft de mogelijkheden tot en het daadwerkelijk ontwikkelen van geïntegreerde leerstof in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen. De vakdidactiek richt zich specifiek op de kwaliteit van het vakonderwijs en beweegt zich in het moeilijke krachtenveld tussen de vakdisciplines, de onderwijskunde en de onderwijspraktijk (Lijnse 1995). We willen in ons onderzoek zoveel mogelijk elementen van het fenomeen integratie in samenhang beschrijven (vergelijk Wester, 1987; Maso, 1989 en Hogendoorn, 1991).

Het exploratieve onderzoek is uitgevoerd bij de vakgroep Didactiek van de Biologie in het kader van het Voorwaardelijk Financieringsprogramma 'Begripsontwikkeling en curriculumonderzoek in de wiskunde en de natuurwetenschappen'. Een deel van het praktijkonderzoek is uitgevoerd in samenwerking met enkele docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum en van de KSG De Breul in Zeist.

Het onderwerp van het onderzoeksmatig te ontwikkelen curriculumonderdeel diende te passen binnen het onderzoeksprogramma van de vakgroep Didactiek van de Biologie dat betrekking heeft op het thema 'Stabiliteit en verandering' uit het huidige examenprogramma biologie. Het leerstofontwerp past binnen het subdomein 'Homeostase bij de mens', een onderdeel van het domein 'Dynamiek en homeostase' in het examenprogramma biologie vwo voor de vernieuwde tweede fase (Stuurgroep Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Tevens sluit het leerstofontwerp aan bij relevante subdomeinen uit de examenprogramma's natuurkunde en scheikunde voor de nieuwe tweede fase.

2. Literatuurgegevens over integratie van leerstof

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de opzet en de uitkomsten van de screening van literatuur op gegevens over integratie van leerstof in (de tweede fase van) het algemeen voortgezet onderwijs. Daarmee beantwoorden we onderzoeksvraag A: *‘Welke gegevens over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken worden aange troffen in de literatuur?’*

Daar de onderzoeksvraag open is geformuleerd, hebben we - om het onderzoek gericht te kunnen uitvoeren - vooraf bepaald aan welke aspecten van integratie speciaal aandacht zou worden gegeven. Deze aandachtspunten voor gegevensverzameling zijn geformuleerd in de onderstaande deelvragen van onderzoeksvraag A.

- *Welke vormen van integratie zijn beschreven?*
- *Welke effecten van integratie zijn beschreven?*
- *Welke integratie beïnvloedende factoren zijn beschreven?*
- *Welke motieven pro en contra integratie zijn beschreven?*

Omdat voor het totstandkomen van integratie van leerstof (onderdelen) - in dit onderzoek uit de natuurwetenschappelijke vakken - vakinhoudelijke samenwerking tussen de desbetreffende docenten noodzakelijk is, besteden we ook enige aandacht aan dit aspect.

In § 2.2 beschrijven we de opzet van het uitgevoerde literatuuronderzoek. In § 2.3 geven we aan de hand van de bovenstaande deelvragen een overzicht van de literatuurgegevens betreffende integratie van leerstof, met name uit de natuurwetenschappelijke vakken. Hierbij baseren we ons voornamelijk op de wetenschappelijke literatuur. Paragraaf 2.4 heeft betrekking op integratie van leerstof in (de tweede fase van) het Nederlandse algemeen voortgezet onderwijs. In deze paragraaf beschrijven we de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aangetroffen praktijkvoorbeelden van integratie van leerstof. In § 2.5 geven we een typologie van vormen van integratie. Met behulp van deze typologie classificeren we de in de bovengenoemde praktijkvoorbeelden aangetroffen vormen van integratie. In § 2.6 bespreken we de resultaten van de literatuurstudie aan de hand van de deelvragen van onderzoeksvraag A. In § 2.7 maken we de balans op van de literatuurstudie.

2.2 Opzet van de literatuurstudie

Het literatuuronderzoek bestaat uit twee gedeelten. Teneinde een algemeen beeld te

krijgen van integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken, gingen we in het eerste deel van de literatuurstudie na welke gegevens hierover in de internationale en Nederlandse - voornamelijk - wetenschappelijke literatuur voorhanden waren. Onder wetenschappelijke literatuur verstaan we in boeken of tijdschriften gepubliceerde artikelen die vooraf door referenten zijn beoordeeld. Voor de (didactische) vakliteratuur beperkten we ons tot de Nederlandse situatie. De literatuurgegevens voor het eerste deel van het onderzoek, werden vooral verkregen door het volgen van citatiepatronen en met behulp van het literatuurbestand ERIC (bijlage 1).

Het tweede deel van de literatuurstudie betreft een specifiek Nederlandse onderwijssituatie. In § 1.5 gaven we aan dat we - in samenwerking met een aantal docenten in de natuurwetenschappen - een voorbeeldmatig ontwerp van geïntegreerde leerstof wilden ontwikkelen voor de nieuwe tweede fase van het voortgezet onderwijs. Daarom gingen we in dit deel van de literatuurstudie na welke gegevens over integratie van leerstof en daarbij behorende vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in (de bovenbouw van) vwo en havo beschikbaar waren. Vanwege het praktijkgerichte karakter van dit deel van het literatuuronderzoek voegden we aan de in § 2.1 geformuleerde deelvragen één deelvraag toe, namelijk *'Bij welke onderwerpen vond integratie plaats?*

Ten behoeve van het tweede deel van de literatuurstudie lieten we een recherche uitvoeren door het Instituut voor Onderzoek van het Onderwijs (SVO) in de literatuurbestanden ADION en DION, die betrekking hebben op (voornamelijk) Nederlandse onderwijsliteratuur (bijlage 1). Deze bestanden werden gescreend op het voorkomen van gegevens over integratie/vakinhoudelijke samenwerking in de boven- en de onderbouw van havo en vwo. Deze screening leverde geen bruikbare artikelen op. Voorts screenden we de Nederlandse (didactische) vakliteratuur (bijlage 1). Deze screening betrof zowel praktijkvoorbeelden van integratie/vakinhoudelijke samenwerking in de tweede fase voortgezet onderwijs van vóór en na de invoering van de mammoetwet in 1968 (Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, 1963) als praktijkvoorbeelden uit de eerste fase van het voortgezet onderwijs. Verder trachtten we gegevens te verkrijgen via mondelinge oproepen tijdens bijeenkomsten van diverse verenigingen en door middel van een schriftelijke oproep in een aantal tijdschriften (bijlage 1). Deze oproepen leverden geen informatie op.

In de beschreven praktijkvoorbeelden van integratie troffen we verschillende vormen van integratie aan. Om deze te kunnen classificeren, ontwierpen we een typologie van vormen van integratie. Deze typologie werd ontwikkeld op basis van in de wetenschappelijke literatuur en in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aangetroffen typologieën.

We besluiten de rapportage van de literatuurstudie met een bespreking van de resultaten, waarbij de gegevens uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur worden gespiegeld aan de gegevens uit de wetenschappelijke literatuur.

2.3 Integratie in de literatuur

Sinds enkele decennia wordt 'integrated science' door onderwijsdeskundigen sterk gepropageerd (onder anderen Baez, 1976; Chisman, 1990a). Hierbij heeft Unesco een belangrijke rol gespeeld. Onder auspiciën van deze instantie is een aantal grote conferenties georganiseerd (Varna, 1968; Maryland, 1973; Nijmegen, 1978; Canberra, 1988) en is een aantal boeken over 'integrated science' gepubliceerd, zoals de serie 'New trends in integrated science teaching' (Richmond, 1971, 1973, 1974; Cohen, 1977a; Reay, 1979; Chisman, 1990a) en het 'Unesco handbook for science teachers' (Lockard, 1980).

In de 'New trends serie' wordt de volgende definitie van 'integrated science' gehanteerd: *'Integrated science teaching consists of those approaches in which the concepts and principles of science are presented so as to express the fundamental unity of scientific thought and to avoid premature or undue stress on the distinctions between the various scientific fields'* (Baez, 1976).

In deze paragraaf geven we een overzicht van de gegevens over integratie van leerstof- (onderdelen) uit de natuurwetenschappelijke vakken die in - voornamelijk - de wetenschappelijke literatuur zijn aangetroffen. Waar relevant vermelden we hierbij ook gevonden informatie over vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten. We rangschikken de gegevens aan de hand van de deelvragen van onderzoeksvraag A (§ 2.1).

2.3.1 Vormen van integratie

Bij de classificatie van vormen van integratie hanteren de geraadpleegde auteurs verschillende ordeningscriteria. Volgens Blum (1973) hebben 'integrated science'-programma's twee of meer dimensies. De belangrijkste dimensies hebben betrekking op het aantal bij de integratie betrokken - meer of minder verwante - vakken en op de mate van integratie tussen de betrokken vakken. Op basis van de eerstgenoemde dimensie komt hij tot de volgende vormen van integratie (tabel 2.1).

Tabel 2.1: Vormen van integratie gebaseerd op het aantal betrokken vakken (Blum, 1973).

- 1 *Integratie binnen één van de natuurwetenschappen*, bijvoorbeeld een combinatie van botanie en zoölogie bij biologie.
- 2 *Integratie tussen twee nauw verwante natuurwetenschappen*, bijvoorbeeld chemie en fysica als fysische chemie.
- 3 *Integratie tussen de natuurwetenschappen* (met of zonder wiskunde).
- 4 *Integratie tussen fundamentele en toegepaste natuurwetenschappen en technologie*.
- 5 *Integratie tussen natuurwetenschappen en sociale wetenschappen*.
- 6 *Integratie tussen natuurwetenschappen en geesteswetenschappen*.

De in tabel 2.1 aangegeven indeling van vormen van integratie komt in grote trekken overeen met die van Rutherford & Gardner (1971).

Met betrekking tot de tweede dimensie - de mate van integratie - maakt Blum een onderscheid tussen coördinatie, combinatie en volledige integratie van vakken, door hem aangeduid als 'amalgamation' (tabel 2.2).

Tabel 2.2: Vormen van integratie gebaseerd op de mate van integratie (Blum, 1973).

- 1 *Coördinatie*. Deze vorm van integratie heeft gewoonlijk betrekking op gelijktijdig onderwezen onafhankelijke programma's.
- 2 *Een gecombineerd 'science'-programma*. Een dergelijk programma is opgebouwd uit hoofdstukken of andere grote onderdelen, waarin onderwerpen uit één van de onderscheiden disciplines ter sprake komen.
- 3 *Een volledig geïntegreerd programma*. Hierbij vormt een interdisciplinair onderwerp of thema het uitgangspunt voor integratie.

Verschillende auteurs geven aan dat er in de praktijk geen sprake is van scherp begrensde vormen van integratie. Zo merkt Blum (1973) bij de indeling in tabel 2.2 op dat in de praktijk de ontwikkelde programma's meer of minder gecoördineerd, gecombineerd of geïntegreerd zijn. Baez (1976) stelt dat er een reeks van tussenvormen van integratie wordt aangetroffen tussen volledige integratie in het basisonderwijs en een situatie van geheel gescheiden vakken op eindexamenniveau in het voortgezet onderwijs. Volgens Cohen (1977b) kan de mate van integratie variëren van het samenvoegen van aspecten uit twee vakken tot het volledig integreren van verschillende vakken tot één vak.

In de situatie van het Nederlandse voortgezet onderwijs werd afstemming op het gebied van leerstofonderdelen en vaardigheden gepropageerd bij het opstellen van de eindtermen voor de profielvakken voor de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a) en bij de herziening van de kerndoelen voor de basisvorming (Van Os, 1994; Van Vroonhoven, 1995). Van Os (1994) besteedt in dit verband aandacht aan één van de karakteristieken van de basisvorming, namelijk 'samenhang', met als uiterste consequentie volledige integratie van vakken. Hij onderscheidt zeven vormen van samenhang (tabel 2.3).

Tabel 2.3: Vormen van samenhang naar Van Os (1994).

- 1 *Samenhang binnen één vak*. De kerndoelen per vak zijn geordend in domeinen en subdomeinen, waardoor de samenhang binnen de leerinhouden wordt benadrukt. De samenhang binnen het vak heeft ook betrekking op de samenwerking in de vaksectie.
- 2 *Samenhang in kerndoelen van verwante vakken*. Veelal is bij verschillende vakken een deel van de kerndoelen identiek. Vaksecties kunnen dan op grond van inhoudelijke raakpunten samenhang tussen de vakken creëren door afspraken te maken over inhoud, didactiek en behandeling van bepaalde thema's.
- 3 *Samenhang door afstemmingsafspraken tussen docenten van verwante vakken*. Leerstofelementen kunnen worden gegroepeerd rond maatschappelijke thema's als geluidshinder en broeikaseffect. De vaksecties kunnen samenhang creëren door afstemmingsafspraken te maken over inhoud en didactiek en behandeling van dergelijke thema's.

- 4 *Samenhang in begripsdefiniëring, volgorde en diepgang.* Bij een aantal onderwerpen die in verschillende vakken terugkomen, is het van belang een uniforme terminologie te hanteren en afspraken te maken over de leerstofsequentie en over de diepgang van behandeling van deze onderwerpen in de verschillende vakken.
- 5 *Samenhang in vaardigheidsdoelen voor alle vakken.* De algemene vaardigheden die in elk vak terug moeten komen, zijn het verrichten van onderzoek, het raadplegen van bronnen, het verwoorden van een eigen standpunt en het hanteren van functionele criteria bij standpuntsbepaling.
- 6 *Samenhang door thematisch onderwijs en educaties.* Gedeeltelijke samenhang wordt aangetroffen bij bepaalde thema's en educaties die aan de orde kunnen komen bij verschillende vakken zoals natuur- en milieu-educatie, verkeerseducatie en ontwikkelingssamenwerking. Een belangrijke voorwaarde om leerlingen de samenhang tussen de gezichtspunten vanuit de verschillende vakken te laten zien, is dat de docenten van die vakken samenwerken en afspraken maken.
- 7 *Vakkencombinaties.* Deze combinaties vormen een ingrijpende vorm van samenhang, waarbij door volledige integratie van vakken nieuwe vakken ontstaan.

Daarnaast wijst Van Os (1995) op de mogelijkheid dat docenten gedurende een beperkte periode kunnen samenwerken bij het geven van thematisch onderwijs.

2.3.2 Effecten van integratie

In deze paragraaf beschrijven we een aantal verwachte en een aantal op onderzoek gebaseerde effecten van integratie.

Champagne & Cornbleth (1991) wijzen erop dat veel onderwijskundigen een interdisciplinaire benadering van de natuurwetenschappen aanbevelen vanwege de verwachte positieve effecten ervan op leerlingen. Volgens deze auteurs wordt een dergelijke benadering in de praktijk echter nauwelijks aangetroffen en zijn er dientengevolge slechts weinig *empirische* gegevens voorhanden die het werkelijk optreden van de genoemde effecten melden. Champagne & Cornbleth verwachten overigens wel dat een dergelijke benadering kan leiden tot het ontwikkelen van krachtige kennisstructuren en cognitieve bekwaamheden. Verder zijn er volgens Unesco (1990) aanwijzingen dat een geïntegreerde benadering leidt tot een grotere betrokkenheid van leerlingen bij de natuurwetenschappen, een toename in de keuze van leerlingen voor 'science' als hoofdvak en tot even goede of betere prestaties, zoals hogere scores bij 'scientific literacy'-toetsen, vergeleken met leerlingen die onderwijs in gescheiden disciplines volgden.

Van Os (1995) verwacht dat leerlingen als gevolg van een samenhangend onderwijsaanbod in de basisvorming op een hoger cognitief niveau zullen gaan functioneren. In tegenstelling tot het traditionele onderwijs, waarin samenhang wordt verkregen door een voor docenten herkenbare vakstructuur, zorgen in de basisvorming voor de leerlingen herkenbare contexten voor samenhang in het onderwijsaanbod. Onderwijs vanuit toepassingen betekent volgens Van Os geen verlaging van niveau. Hij acht het toepassen van kennis van een hoger cognitief niveau dan het reproduceren ervan. Toepassen activeert de aanwezige kennis bij de leerling.

Omdat in de basisvorming wordt gestreefd naar meer samenhang tussen de vakken, verwacht Verhulst (1994) dat de invoering van de basisvorming een positieve invloed

kan hebben op de motivatie van de leerlingen. Volgens hem biedt volledige integratie van vakken - hij spreekt van vakkencombinaties - vele voordelen op organisatorisch, onderwijskundig en pedagogisch gebied. Zo kunnen - mits de elementen waaruit alle aandachtsgebieden voor samenhang zijn opgebouwd goed op elkaar zijn afgestemd - de betreffende vakken aan de leerlingen als een eenheid worden aangeboden, zonder gevaar voor overlap en fragmentatie en kan er tijdswinst worden geboekt (vergelijk Baez, 1976; Unesco, 1990). Voorts worden denk- en werkwijzen logisch en herkenbaar aan elkaar gekoppeld en wordt het herkennen van structuren voor de leerlingen gemakkelijker. Ook wordt hun zelfstandigheid groter. Het voordeel van vakkencombinaties is naar de mening van deze auteur dat er minder verschillende docenten in een (lagere) klas van het voortgezet onderwijs les hoeven te geven, waardoor het aantal één-uursvakken afneemt en de vorming van klassteams mogelijk wordt.

In de literatuur troffen we ook een aantal op onderzoek gebaseerde gegevens aan over effecten van een geïntegreerd leerstofaanbod op leerlingen.

Het beter aansluiten van een geïntegreerd curriculum bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen

Leerpsychologen wijzen erop dat goed onderwijs moet aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen. Wierstra (1990) concludeert op grond van zijn onderzoek over het effect van het PLON-materiaal dat een meer leefwereldgerichte leeromgeving bij leerlingen een hogere leswaardering en sterkere 'gevoelens van leerzaamheid' tot gevolg heeft. Door aan te sluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen kan naar de mening van Roelofs, Franssen & Grootscholten (1996) de kloof tussen het leren binnen en buiten de school worden overbrugd. De leefwereld van de leerlingen is ongedeeld, leerlingen beschouwen de hen omringende natuur niet vanuit het gezichtspunt van gescheiden vakdisciplines. Wanneer docenten willen aansluiten bij deze wereld, dan moeten zij geïntegreerd lesmateriaal aanbieden (Roelofs, Franssen & Grootscholten, 1996; vergelijk Holman, 1990; Unesco, 1990; Van Os, 1994; Verhulst 1994). Bovendien vermindert een dergelijk leerstofaanbod bij leerlingen de kans op systeemscheiding. Systeemscheiding heeft volgens Van Parreren (1970a,b, 1991) tot gevolg dat kennis - aangeboden in gescheiden vakken - moeilijk door leerlingen wordt geïntegreerd, omdat die kennis terecht komt in geïsoleerde geheugensystemen. Ook Roelofs, Franssen & Grootscholten (1996) achten eenzijdige gerichtheid op één discipline ongewenst. Bij het aanleren van kennis moet worden uitgegaan van begrippen en werkwijzen van professionals zoals wetenschappers en praktijkbeoefenaren, die veelal niet strikt vanuit één discipline werken (vergelijk Van Parreren, 1970a,b, 1991; Imelman & Meijer, 1986). De auteurs vinden het noodzakelijk om geïntegreerd lesmateriaal aan te bieden in de vorm van complexe taken. Deze taken zijn interdisciplinair van aard, omdat hierin kennis- en vaardigheidsaspecten uit meerdere vakgebieden zijn samengebracht. Het interdisciplinaire karakter van deze taken kan worden gerealiseerd

door het gebruik van vakgrensoverschrijdende thema's en door vakkenintegratie (Roe-lofs, Franssen & Grootsholten, 1996).

De vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde koos bij het ontwikkelen van de eindtermen van de nieuwe eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken voor vier vakgrensoverstijgende contextgebieden, waaronder het contextgebied 'gezondheid'. Binnen deze contextgebieden onderscheidde de vakontwikkelgroep realistische - brede maatschappelijke en wetenschappelijke - contexten (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Het aanbieden van de leerstof in zinvolle contexten is ook een goede mogelijkheid om aan te sluiten bij de ervaringswereld van leerlingen. Met name constructivisten claimen dat het leren-in-contexten aansluit bij de leefwereld van leerlingen en leidt tot 'zinnvoller' leren dan context-vrij leren (Boekaerts, 1982; vergelijk Holman, 1990; Reygel, 1997).

Verskillende auteurs vergeleken de resultaten van leerlingen - voornamelijk uit de hoogste leerjaren van een 'high school' - die een geïntegreerd curriculum hadden gevolgd met die van leerlingen die onderwijs hadden gekregen via een gescheiden vakkenaanbod. Uit deze resultaten bleek dat geïntegreerd 'science'-onderwijs een aantal gunstige effecten op leerlingen tot gevolg had. We geven hiervan een kort overzicht.

Een toegenomen motivatie van leerlingen en docenten

De toegenomen motivatie van leerlingen als gevolg van een geïntegreerd leerstofaanbod kwam tot uiting in een grotere belangstelling voor de natuurwetenschappen. Zo evalueerde Pfeiffer (1969) de effecten van een vierjarig geïntegreerd, op concepten gebaseerd, 'science' curriculum. Uit de resultaten bleek dat het percentage leerlingen dat opteerde voor een derde jaar geïntegreerd onderwijs toenam van 9% ten tijde van het traditionele onderwijs in 1967, tot 23% na de implementatie van het geïntegreerde curriculum en dat 41% van de onderbouwleerlingen zich had ingeschreven voor het curriculum dat in 1971 zou worden uitgevoerd. Ook Showalter (1971) concludeerde - op basis van vier onderzoeken - dat er in 'high schools' een sterk toegenomen belangstelling valt te bespeuren voor geïntegreerde 'science'-curricula (vergelijk Richardson & Showalter, 1967; Herr, 1971). Hij baseerde deze conclusie op het significant toegenomen aantal leerlingen dat een dergelijk curriculum als keuzevak koos en op het voornemen van veel leerlingen om 'science' als hoofdvak te kiezen wanneer zij zouden worden toegelaten tot een 'college'. Baez (1976) constateerde dat de leerlingen van mening waren dat een geïntegreerd 'science'-programma beter aansloot bij hun psychologische, sociale, en emotionele behoeften, dan een traditioneel 'science'-programma, zoals zij hadden gevolgd op de desbetreffende 'high school' (vergelijk Pfeiffer, 1969).

Het relateren van het 'science'-onderwijs aan maatschappelijke thema's heeft volgens Chisman (1990b) een motiverende invloed op leerlingen. Dergelijk onderwijs stimuleert de wetenschappelijke interesse van leerlingen en bevordert bij hen een positieve

attitude ten opzichte van 'science' (vergelijk Kerr, 1971; Lewis, 1971; Cerovsky, 1973).

Morton (1993) vermeldt dat docenten daadwerkelijke vakinhoudelijke samenwerking positief waardeerden. Deze waardering kwam tot uiting in een toenemende arbeidssatisfactie als gevolg van deze samenwerking.

Een gunstig effect op de begripsontwikkeling van leerlingen

Richardson & Showalter (1967) en Showalter (1971) constateerden dat leerlingen uit de hoogste leerjaren van een 'high school' die een geïntegreerd curriculum hadden gevolgd, na toelating tot een 'college' even goede of zelfs betere prestaties leverden bij 'science' als leerlingen die traditioneel onderwijs hadden genoten.

Yager (1990) refereert aan een onderzoek uitgevoerd in het kader van 'The IOWA Chautauqua programme', waaruit duidelijke verschillen naar voren kwamen tussen de resultaten van leerlingen die onderwijs kregen op basis van een STS ('science, technology, society') benadering en van leerlingen die traditioneel onderwijs volgden. In vergelijking met de meer traditioneel opgeleide leerlingen leverden de leerlingen die de STS-opleiding volgden even goede en 25% van hen zelfs betere prestaties. Hun beheersing van onderzoeksvaardigheden overtrof die van de traditioneel opgeleide leerlingen namelijk met een factor twee en voor hun attitude met betrekking tot het gevolgde onderwijs was dit een factor drie. Bij de beoordeling van hun creativiteit kwamen twee aspecten aan de orde, namelijk het kwantitatieve en het kwalitatieve. Het kwantitatieve aspect betrof de hoeveelheid vragen die de leerlingen stelden, voorspellingen die zij deden ten aanzien van bepaalde uitkomsten, en ideeën die zij hadden omtrent mogelijke oorzaken van aangeboden verschijnselen. Deze onderdelen vertoonden een toename met een factor twee ten opzichte van de leerlingen die geen STS-leergang volgden. Bij het tweede aspect, de kwaliteit van de bovengenoemde items, werd een toename met een factor zes geconstateerd, waarbij er bij de door de leerlingen gestelde vragen speciaal op werd gelet of deze opmerkelijk c.q. uniek waren. Verder is volgens Yager geconstateerd dat de bekwaamheid van de leerlingen om informatie en processen in nieuwe situaties toe te passen toenam met een factor twee tot drie. Yager (1990) is overigens van mening dat de bovengenoemde gunstige resultaten niet zonder meer het gevolg zijn van geïntegreerd onderwijs, maar dat bij elke onderwijsvorm de interesse van docenten voor en de beheersing van de aan te bieden leerstof en vooral de overtuiging van docenten dat de leerlingen als gevolg daarvan betere prestaties zullen leveren, van essentieel belang zijn (vergelijk Taylor, 1979).

Slesnick (1963) ontwikkelde een multiple-choice test over 'een logisch beeld van het universum', berustend op de in het curriculum gepresenteerde waarnemingen van concrete zaken, gebeurtenissen en verschijnselen. Volgens de auteur geven deze waarnemingen - wanneer ze zijn verwerkt - de leerlingen een beeld van het ongedeelde universum. Slesnick concludeerde dat de leerlingen die het geïntegreerde curriculum hadden gevolgd, een veel beter begrip hadden gekregen van de ongedeelde structuur en de

geordendheid van de hen omringende natuur dan leerlingen die traditioneel onderwijs hadden gevolgd.

Richardson & Showalter (1967) en Showalter (1971) constateerden dat leerlingen die een geïntegreerd curriculum hadden gevolgd een grotere 'scientific literacy' hadden verkregen. Baez (1976) wijst er eveneens op dat leerlingen effectiever leren wanneer zij 'science' geïntegreerd krijgen aangeboden. Ten slotte constateerden Schmitz & Hufmann (1997) dat leerlingen bij een geïntegreerde benadering van het thema 'Winter', bij de vakken biologie en natuurkunde fysische wetmatigheden gemakkelijker herkennen en zich eigen wisten te maken wanneer deze betrekking hadden op problemen uit de biologie gekoppeld aan de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen.

2.3.3 Integratie beïnvloedende factoren

Integratie bevorderende factoren

Zowel factoren buiten als binnen de school kunnen integratie bevorderen. Factoren buiten de school vinden we op het terrein van de overheid, bijvoorbeeld in de vorm van het initiëren van onderwijsvernieuwingen. Daarnaast kunnen universiteiten door maatregelen met betrekking tot de aansluiting op het secundair onderwijs, integratie in de tweede fase van het voortgezet onderwijs bevorderen. Binnen de school kan integratie onder meer worden gestimuleerd door het realiseren van professionele secties, door de beschikbaarheid van adequaat, geïntegreerd lesmateriaal, door in het onderwijs aan te sluiten bij maatschappelijke problematiek, door samenwerking van docenten bij het aanbieden van geïntegreerde leerstof te bevorderen en door bij- en nascholing van docenten.

Onderwijsvernieuwingen in de tweede fase van het Nederlandse voortgezet onderwijs betreffen - zoals we aangaven in § 1.4 - de invoering van het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en de doorstroomprofielen, zoals het profiel 'Natuur en Gezondheid', waarin alle drie de natuurwetenschappen voorkomen. Bij de herstructurering van de bovenbouw voortgezet onderwijs streefde de overheid ernaar om meer samenhang te laten ontstaan tussen de vakken. Het geïntegreerde karakter van het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' kan voor docenten een stimulans zijn om in de praktijk leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken daadwerkelijk te integreren. Dit geldt ook voor het profiel 'Natuur en Gezondheid' waarvan de opzet in ieder geval meer mogelijkheden biedt voor integratie dan het geval was in de situatie met een vrije vakkenkeuze onder de mammoetwet.

Verwacht wordt dat onderwijsvernieuwingen een uitstralende werking kunnen hebben op vervolgonderwijs. Zo is Chisman (1990b) een groot voorstander van het introduceren van 'science' in het lager onderwijs. Hij vindt een dergelijke ontwikkeling van belang voor een betere aansluiting op het vervolgonderwijs en voor het stimuleren van integratie in dit onderwijs.

In de Nederlandse basisvorming kan volgens Verhulst (1994) een toenemende (vakinhoudelijke) samenwerking tussen docenten leiden tot meer samenwerking in de vernieuwde tweede fase van het voortgezet onderwijs en - als gevolg daarvan - onder meer tot het integreren van leerstofonderdelen. Verschuren (1997) constateert dat secties door de invoering van de basisvorming inderdaad meer zijn gaan samenwerken. Van Wessum (1997) verwacht echter dat deze samenwerking van tijdelijke aard zal zijn, omdat docenten aangaven dat hun samenwerking vooral is gericht op het ontwikkelen van materiaal voor de basisvorming. Zodra dit materiaal is vervaardigd, is de noodzaak tot samenwerking minder groot. Hieruit blijkt volgens Van Wessum dat docenten vooral zijn gericht op resultaten op korte termijn (vergelijk Grossman & Stodolsky, 1995).

Ook de opstelling van universiteiten ten aanzien van integratie kan een stimulans zijn voor integratie in het voortgezet onderwijs. Zo schrijft Spice (1971) het succes van 'The Nuffield physical science course' - een geïntegreerd aanbod van fysica en chemie in de hoogste leerjaren van het voortgezet onderwijs - toe aan de bereidheid van universiteiten om leerlingen die een dergelijk curriculum volgden, te accepteren voor studies waarvoor fysica en chemie onmisbaar worden geacht. De auteur vermeldt hierbij dat een groot aantal universiteiten veel waardering toonde voor de opzet en de uitvoering van bovengenoemde leergang.

Binnen de school kan het streven naar meer samenhang tussen vakinhouden naar de mening van Verhulst (1994) worden gerealiseerd door het ontstaan van zogenoemde professionele secties. Als gevolg hiervan wordt volgens de auteur samenwerking tussen docenten binnen en tussen secties bevorderd. Verhulst onderscheidt vier typen secties (tabel 2.4).

Tabel 2.4: Typen secties volgens Verhulst (1994).

De vrijblijvende sectie	Bij een dergelijke sectie is er geen sprake van een echt werkverband. Docenten werken parallel.
De embryonale sectie	Bij deze sectie is er wel enig overleg, maar de autonomie van de docent is een geaccepteerd gegeven.
De collegiale sectie	Deze sectie heeft een herkenbaar aandeel in het schoolbeleid. De gezamenlijke secties vormen het belangrijkste staforgaan. Er worden wel afspraken gemaakt over leerstof en gecoördineerde proefwerken, maar de didactiek blijft het terrein van de individuele vakdocent.
De professionele sectie	Deze sectie is binnen de school het belangrijkste en krachtigste werkverband. Voor het vakonderwijs zijn de leden van de sectie gezamenlijk verantwoordelijk. De sectie bouwt know how op door het opsporen en selecteren van relevante kennis, zowel op het terrein van vakinhouden als op de gebieden van het leren van leerlingen en van waardenoverdracht. De sectie krijgt het karakter van een functionele werkgroep.

Verhulst (1994) is ervan overtuigd dat de ontwikkeling van een vrijblijvende naar een professionele sectie een kwaliteitsverhogend effect heeft op het vakonderwijs dat

wordt gegeven. Het streven naar professionele secties berust volgens deze auteur op het uitgangspunt dat de meeste energie en middelen ten goede moeten komen aan het primaire proces, namelijk de overdracht van de vakinhoud aan de leerlingen. De ontwikkelingsfunctie van het vak is in de professionele sectie verankerd, hetgeen volgens Verhulst van belang is voor de realisatie van de basisvorming en van de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. Een goed functionerende sectie wordt - in het algemeen gesproken - gekenmerkt door een goede onderlinge samenwerking, duidelijke afspraken en heldere communicatielijnen (vergelijk Koetsier, 1991). Een goede sfeer binnen een scholengemeenschap - de 'ecologie' van de school - heeft niet alleen een positief effect op de motivatie van leerlingen (Genseberger, 1997), maar heeft ook grote invloed op de mate waarin docenten bereid zijn te participeren in vernieuwingsprojecten (vergelijk Guyton & McIntyre, 1990; Koetsier, 1991).

Verhulst (1994) onderscheidt vier sturingsmiddelen om samenwerking binnen en tussen secties te bevorderen: schoolvisie en expliciet beleid, directe communicatie ten aanzien van de wederzijdse afstemming tussen schoolleiding en secties, ondersteuning en druk vanuit de schoolleiding, en commitment van sectieleiders. In een professionele sectie is de sectieleider van cruciaal belang. Hij dient onder meer vakoverstijgend geïnteresseerd te zijn en wordt geacht in samenwerking met andere sectieleiders voorstellen te ontwikkelen over onderwerpen die een geïntegreerde aanpak vereisen.

Voorts kan de beschikbaarheid van adequaat, geïntegreerd lesmateriaal docenten motiveren om geïntegreerd 'science'-onderwijs te geven. Bij het ontwikkelen van dergelijk materiaal kunnen volgens Chisman (1990b) pedagogische centra docenten hulp bieden. Wanneer docenten in de gelegenheid worden gesteld om zelf deel te nemen aan het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal en met hulp van deskundigen praktische ervaring op te doen bij het toepassen ervan, dan wordt naar de mening van deze auteur de bereidheid van docenten gestimuleerd om dergelijk materiaal te gebruiken (vergelijk Baez, 1976).

Een curriculum kan volgens Rutherford & Gardner (1971) alleen maar als werkelijk geïntegreerd worden beschouwd wanneer de 'science'-concepten worden gepresenteerd door middel van een gemeenschappelijke benadering. Zo'n gemeenschappelijke benadering kan worden gerealiseerd op basis van verschillende organisatieschema's c.q. ordeningsprincipes. Rutherford & Gardner geven hiervan enkele voorbeelden.

- Een leergang ontwikkeld rond de grote natuurwetenschappelijke ideeën waarbij thema's worden geselecteerd die zijn verbonden met diverse wetenschappen, bijvoorbeeld een thema als behoud van energie.
- Een onderzoeksmatige benadering zoals probleemoplossend leren kan worden gebruikt als een integrerend organisatieschema. Bij deze benadering stelt de 'science'-docent vragen - of stimuleert de leerlingen deze te stellen - die voor de leerlingen een uitdaging vormen om er antwoorden op te vinden en die hen noodzakelijkerwijs in contact brengen met diverse disciplines. Een voorbeeld van een dergelijke vraag is: 'Hoeveel energie heeft de mensheid tot haar beschikking?'
- Een leergang ontwikkeld rond problemen met betrekking tot de sociale relevantie en het nut van de natuurwetenschappen. Een voorbeeld van een dergelijk probleem is milieuverontreiniging als nadelig effect van 'science' en technologie.

- Een benadering waarbij de nadruk meer valt op wetenschap als proces dan op de vakinhoud van een discipline. Zodanig gestructureerde curricula hebben als doel de leerlingen praktisch bezig te laten zijn met 'science'. Het in het onderwijs aandacht besteden aan hoe de leerlingen zinvolle vragen kunnen leren stellen, werkhypothesen ontwikkelen, gegevens verzamelen en analyseren, en het geven van gefundeerde waardeoordelen, heeft de voorrang boven het beheersen van een afgebakende hoeveelheid wetenschappelijke kennis.

Daarnaast wordt integratie naar de mening van Lewis (1979) bevorderd door het aansluiten van het onderwijs bij maatschappelijke thema's. Hij noemt daarbij thema's zoals energie, natuurlijke hulpbronnen, populatievraagstukken, gezondheid en geneesmiddelen, voedsel, voeding, landbouw, en armoedebestrijding. Deze auteur vindt dat de genoemde thema's - vanwege hun interdisciplinaire karakter - voor leerlingen niet kunnen worden verhelderd met behulp van onderwijs in gescheiden vakken (vergelijk Silber, 1979).

Spice (1971) acht 'team teaching' bij het onderwijzen van een geïntegreerd curriculum van essentieel belang. Hij heeft hiervoor twee argumenten. In de eerste plaats bestaat volgens hem de kans dat het geïntegreerde karakter van de leerstof langzamerhand verloren gaat, doordat een docent als solist geneigd is terug te vallen op het vertrouwde aanbieden van gescheiden onderwerpen. In de tweede plaats biedt het gezamenlijk aanbieden van de leerstof de deelnemende docenten een unieke gelegenheid om zich gaandeweg bij te scholen in leerstof waarmee zij niet vertrouwd zijn (vergelijk Fensham & Harlow, 1974).

Verder wordt integratie bevorderd door de motivatie van docenten voor het geven van geïntegreerd 'science'-onderwijs te stimuleren. In dat verband bepleit Chisman (1990b) een intensieve bijscholing van docenten met betrekking tot vakinhoud en didactiek, gepaard gaande met professionele ondersteuning van docenten door het opzetten van centra voor de ontwikkeling van onderwijsmateriaal en van netwerken van 'science'-docenten. Daarnaast is volgens Rutherford (1971) een zorgvuldige analyse van nieuwe curricula door de ontwikkelaars noodzakelijk, om na te gaan welke kennis, vaardigheden en attitudes van docenten worden verwacht om het onderwijs van dergelijke curricula met succes te kunnen verzorgen.

Blum (1973) meent dat het nogal eens voorkomt dat docenten onvoldoende zijn gemotiveerd om *volledig* geïntegreerde programma's aan te bieden (vergelijk Baez, 1976). Hun motivatie kan volgens Blum worden gestimuleerd door hen in de gelegenheid te stellen eerst gebruik te maken van combinaties van programma's en onderwerpen uit diverse disciplines. Ook in de Nederlandse situatie is volgens Van Os (1994, 1995) voor veel scholen en docenten het streven naar volledige integratie nu nog 'een brug te ver'. Hij beveelt aan te starten met het maken van afspraken die de mogelijkheid bieden om tot meer samenhang te komen zonder dat de bestaande vakstructuur direct verlaten hoeft te worden, zoals

- afstemmingsafspraken tussen vaksecties van verwante vakken;
- afspraken in het gehele docententeam over vaardigheidsontwikkeling;
- afspraken tussen groepen docenten over educaties;

- afspraken tussen vakdocenten en decanaat over oriëntatie op studie en beroep.

Integratie belemmerende en/of remmende factoren

Integratie belemmerende c.q. remmende factoren betreffen de onderwijsinrichting van het voortgezet onderwijs, de beschikbaarheid van adequaat lesmateriaal, en factoren die directer betrekking hebben op docenten, zoals hun motivatie voor het geven van geïntegreerd onderwijs, opleidingsmogelijkheden, en lacunes in de didactische en vakinhoudelijke kennis.

De wijze waarop het onderwijs in het voortgezet onderwijs is ingericht, kan een belemmerende invloed hebben op integratie. Zo wijst Thier (1973) op de belemmerende invloed van het onderwijs in gescheiden vakken in de bovenbouw op integratie in het laatste leerjaar van de onderbouw. Van een werkelijk geïntegreerd curriculum in de bovenbouw kan volgens Thier echter geen sprake zijn, zolang de eindexamens zijn afgestemd op gescheiden disciplines (vergelijk Winter, 1970; Lambert, 1979). Wanneer curricula wel zijn geïntegreerd, dan sluit volgens Chisman (1990b) de wijze van toetsen hier veelal niet bij aan, omdat deze toetsing is gericht op afzonderlijke onderwerpen. Dit leidt volgens deze auteur tot oppervlakkig leren van de leerlingen, omdat van hen niet wordt gevraagd zich te verdiepen in de samenhang van deze onderwerpen (vergelijk Blum, 1973). Thier (1973) ziet overigens geen serieuze belemmering voor een andere opzet van de eindexamens, omdat slechts een beperkt aantal leerlingen opteert voor een voortgezette studie in de natuurwetenschappen. Bovendien beschikt hij niet over aanwijzingen dat voor leerlingen die wel een studie in de natuurwetenschappen willen gaan volgen, een gescheiden vakkenaanbod al in het voortgezet onderwijs zou moeten beginnen.

Het ontbreken van geschikt lesmateriaal werkt integratie remmend. Ook komt het voor dat lesmateriaal wel beschikbaar is, maar niet voldoet aan de eisen van een werkelijk geïntegreerd curriculum. Van Os (1995) wijst erop dat het in de eerste periode na de invoering van de basisvorming niet voorhanden zijn van een geschikt leerboek voor het als geïntegreerd bedoelde vak natuur- en scheikunde, remmend heeft gewerkt op de integratie van deze vakken. De realisatie van geïntegreerd onderwijs in de natuurwetenschappen wordt volgens Schwarze (1997) sterk belemmerd door het gebrek aan uitgewerkte en in de praktijk getoetste voorbeelden van vakgrensoverschrijdende thema's. Hij is van mening dat aan dit aspect meer aandacht zou moeten worden besteed (vergelijk Bollen, 1995). Ook het gegeven dat de voor de bovenbouw beschikbare geïntegreerde curricula weinig uniformiteit vertonen, remt naar de mening van Lambert (1979) integratie (vergelijk Welch, 1977). Verder is het te weinig aansluiten van de inhoud van geïntegreerde curricula op toekomstige ontwikkelingen naar de mening van Chisman (1990b) een integratie remmende factor. Hij doelt daarbij op ontwikkelingen met zowel een internationale dimensie, zoals ten aanzien van populatie, energie en milieu, als ook op ontwikke-

lingen gerelateerd aan voor een bepaald land specifieke maatschappelijke problemen.

Verschillende auteurs noemen integratie remmende factoren die betrekking hebben op docenten.

Zo wijst Chisman (1990b) op de overbelasting van docenten. Docenten zouden volgens Blum (1973) eigenlijk als eersten vernieuwingen moeten verwelkomen, maar veelal is dit niet het geval, wellicht door onbekendheid met de materie. Ook Van Os (1994, 1995) vermeldt dat een deel van de docenten al dan niet gerechtvaardigde reserves heeft ten aanzien van integratie. Hij merkt op dat de term 'vakkencombinaties' - in de zin van volledige integratie - voor veel docenten een negatieve bijklank heeft. Docenten vrezen namelijk dat zij lesmateriaal moeten ontwikkelen, buiten de grenzen van hun opleiding moeten lesgeven en dat er verlies van werkgelegenheid kan optreden.

Een belangrijke integratie remmende factor betreft de opleiding c.q. nascholing van docenten (vergelijk Foecke, 1974; Showalter, 1974; Thier, 1974; Van der Cingel & Yoong, 1979; Dyasi, 1979; Hofstein, 1979; Raw, 1979; Penick & Bonnstetter, 1990). Penick & Bonnstetter (1990) zijn van mening dat een geïntegreerde 'science'-docentenopleiding is vereist om docenten voor te bereiden op werkelijk geïntegreerd 'science'-onderwijs. De opleidingsmogelijkheden voor docenten zijn volgens Chisman (1990b) echter veel te beperkt (vergelijk Boersma, De Kievit & Pilgrim, 1990). Daardoor komt het naar zijn mening nog te vaak voor dat docenten geen adequaat beeld hebben van een werkelijk geïntegreerd curriculum en integratie beschouwen als het onderwijzen van een serie afzonderlijke onderwerpen uit de biologie, de chemie en de natuurkunde. De monodisciplinaire opleiding van veel docenten is er volgens Penick (1990) debet aan dat deze docenten meer affiniteit hebben met gescheiden vakonderwijs dan met geïntegreerd 'science'-onderwijs (vergelijk Fensham & Harlow, 1974). Chisman (1990b) meent dat docenten - als gevolg hiervan - veel reserves hebben ten aanzien van de uitdagingen en kansen geboden door 'science' en technologie en een gebrek aan motivatie hebben om deze te benutten.

Ook op het terrein van de didactiek en de vakinhoudelijke kennis van docenten zijn integratie remmende factoren aangetroffen.

Met betrekking tot de didactiek van 'integrated science' is er volgens Bonnstetter (1990) nog geen sprake van een optimale situatie. Zo besteden docenten te weinig aandacht aan hun faciliterende rol in het onderwijs, aan het scheppen van een stimulerende leeromgeving en aan het stimuleren van de natuurlijke belangstelling van leerlingen door hun problemen aan te bieden gerelateerd aan hun leef- en ervaringswereld. Daarnaast zijn docenten veelal niet gemotiveerd om onderwijs te geven dat buiten hun eigen vakgebied ligt. Zo wijst Rutherford (1971) erop dat ervaring leert dat de tegenzin van docenten om onderwijs te geven dat buiten hun vakgebied valt, een veelvoorkomende oorzaak is voor het mislukken van invoering of voor het na invoering niet overleven van interdisciplinaire natuurwetenschappelijke curricula. Deze tegenzin wordt nog aangewakkerd wanneer docenten hun didactische aanpak ingrijpend moeten wijzi-

gen en wanneer zij worden verplicht vakinhouden te introduceren waarmee zij niet vertrouwd zijn (vergelijk Williams, 1973). Uit onderzoek is gebleken dat docenten die buiten hun eigen vakgebied lesgeven, neigen naar een veilige didactiek, die wordt gekenmerkt of door college geven of door leerlingen juist zelfstandig uit het boek laten werken. Deze docenten vermijden interactie met en tussen leerlingen (Carlsen, 1991; Hashweh, 1987; Hoz, Tomer & Tamir, 1990). Carlsen (1991) wijst erop dat de bekwaamheid van docenten van invloed is op hun keuze van onderwijsstrategieën en dat de gekozen strategieën op hun beurt de communicatiemogelijkheden van de leerlingen beïnvloeden. Zo plannen docenten met weinig kennis van zaken volgens hem meer groepswork, zonder dat zij zich bewust zijn van de specifieke eisen die een dergelijke werkvorm stelt. Hashweh (1987) concludeert dat de vakinhoudelijke kennis van de docent een essentiële bijdrage levert aan zijn vermogen om een geschreven curriculum te transformeren in een uitvoerbaar curriculum. Onervaren docenten zijn volgens hem sterk afhankelijk van de tekst in het leerboek, zowel bij de instructie als bij de toetsing van de stof. Voorts zijn dergelijke docenten naar de mening van Hashweh minder in staat preconcepten van leerlingen te ontdekken en eventueel te corrigeren.

Volgens Shulman (1986) is er duidelijk sprake van lacunes in de kennis van docenten. Deze auteur vindt dat er in het kader van geïntegreerd 'science'-onderwijs veel te weinig aandacht wordt besteed aan inhoudelijke kennis van docenten (vergelijk Hashweh, 1987). Naar zijn mening gaat het daarbij om vakinhoudelijke kennis, zoals kennis van en inzicht in de begrippen, vertrouwdheid met de samenhang in het gebied, met de relevantie van kennis en met praktijkcontexten. Voorts om pedagogische en didactische kennis, nodig voor het onderwijzen van de vakinhoud, namelijk het op een voor leerlingen begrijpelijke wijze aanbieden van de leerstof en de formulering van begrippen. De docent dient hiervoor volgens Shulman te beschikken over een waar arsenaal van alternatieve benaderingen. Bovendien dient de docent in te kunnen schatten welke onderwerpen voor de leerlingen problematisch zijn, welke preconcepten en eventueel misconcepten bij leerlingen aanwezig kunnen zijn. Verder dient de docent in de ogen van Shulman te beschikken over kennis van het curriculum. Het curriculum omvat naar zijn mening de totale reeks van programma's die zijn ontwikkeld voor het onderwijzen van bepaalde onderwerpen en thema's voor een bepaald onderwijsniveau, de verscheidenheid van beschikbaar onderwijsmateriaal met betrekking tot deze programma's en een serie karakteristieke kenmerken voor het bepalen van de indicaties en contra-indicaties voor het gebruik van bepaalde materialen in bepaalde omstandigheden.

2.3.4 Motieven pro en contra integratie

Motieven voor het bevorderen van integratie

In de voorgaande paragrafen van de literatuurstudie zijn verschillende factoren genoemd die voor docenten een motief kunnen vormen om de natuurwetenschappelijke leerstof in geïntegreerde vorm aan te bieden.

- *Het beter aansluiten bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen* (Boekaerts, 1982; Imelman & Meijer, 1986; Wierstra, 1990; Holman, 1990; Unesco, 1990; Van Parreren, 1970a,b, 1991; Van Os, 1994; Verhulst, 1994; Roelofs, Franssen & Grootsholten, 1996; Reygel, 1997)
- *Een toegenomen motivatie van leerlingen* (Pfeiffer, 1969; Showalter, 1971; Verhulst, 1994)
- *Een gunstig effect op de begripontwikkeling van leerlingen* (Baez, 1976; Rutherford & Showalter, 1967; Showalter, 1971; Yager, 1991)
- *De beschikbaarheid van adequaat, geïntegreerd lesmateriaal* (Rutherford & Gardner, 1971; Chisman, 1990b)
- *Het laten aansluiten van het onderwijs bij maatschappelijke problemen met een interdisciplinair karakter, zoals milieu* (Lewis, 1979)
- *Door de overheid geïnitieerde onderwijsvernieuwingen met betrekking tot het Nederlandse voortgezet onderwijs* (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a,b)

Overige in de literatuur aangetroffen motieven voor het bevorderen van integratie van de natuurwetenschappen zijn: een betere voorbereiding van leerlingen op voortgezette studie en beroep en hen het inzicht verschaffen dat de natuurwetenschappen een fundamentele eenheid vormen.

Leerlingen worden - als toekomstige beroepsbeoefenaars - door een geïntegreerde benadering beter voorbereid op het praktische leven en er wordt een beter fundament gelegd voor de studie in de afzonderlijke natuurwetenschappen (Rutherford & Gardner, 1971; vergelijk Matyas 1973). Baez (1976) is eveneens van mening dat staatsburgers die kennis hebben gemaakt met geïntegreerd 'science'-onderwijs, beter hun weg zullen vinden in een geïndustrialiseerde en technologische samenleving. Hij wijst erop dat er in onze moderne, complexe samenleving een toenemende behoefte is aan generalisten, goed opgeleide niet gespecialiseerde deskundigen die inzicht hebben verkregen in de methoden, de relevantie en de beperkingen van 'science'. Rutherford & Gardner (1971) achten het dan ook noodzakelijk dat leerlingen op een effectieve manier gegevens leren verzamelen, kunnen komen tot een afgewogen oordeel, en een totaalvisie op hun natuurlijke omgeving ontwikkelen. Omdat de aspecten van hun natuurlijke omgeving componenten bevatten uit diverse disciplines, vinden de auteurs het voor de hand liggend dat 'science'-onderwijs leerlingen hierbij behulpzaam kan zijn. Volgens Jacobson (1971) heeft elk individu recht op adequaat 'science'-onderwijs, omdat 'science' een zodanig belangrijk aspect van de meeste culturen is geworden dat dit onderwijs voor een ieder onmisbaar is (vergelijk Rutherford, 1971). De belangrijkste dimensies van het culturele aspect van 'science' zijn naar de mening van deze auteur het ontwikkelen van een natuurwetenschappelijk wereldbeeld, van een conceptuele structuur van de natuurwetenschappen en van het vermogen om gebruik te kunnen maken van natuurwetenschappelijke processen.

Cohen (1977b) noemt het aan de leerlingen verschaffen van het inzicht dat de natuurwetenschappen een fundamentele eenheid vormen, het kernpunt voor hen die het concept van integratie onderschrijven. De omgeving van de leerlingen is volgens D'Am-brosio (1979) het belangrijkste middel om hen een dergelijk inzicht te verschaffen. Hij

vindt in dit verband - gezien het ongedeelde karakter ervan - vooral de natuurlijke aspecten van de omgeving van belang (vergelijk Baez, 1976). Daarom ligt het volgens Baez (1976) voor de hand om de natuurwetenschappen ook ongedeeld aan te bieden. Een dergelijk geïntegreerd aanbod bevordert de samenhang van wetenschappelijke kennis. Bovendien worden de leerlingen zich bewust van de overeenkomstige benadering van de betrokken vakken bij de aanpak van natuurwetenschappelijke problemen en krijgen zij begrip voor de rol en de functie van 'science' in hun dagelijks leven (vergelijk Rutherford & Gardner, 1971; d'Arbon, 1972; Cohen, 1977b).

Integratie betekent in de opvatting van Cohen (1977b) het wegnemen van grenzen tussen traditionele vakken of onderdelen ervan. De term integratie wordt volgens hem toegepast op de relaties binnen en tussen onderwerpen die gewoonlijk gescheiden worden onderwezen. Als motief voor het wegnemen van grenzen tussen de natuurwetenschappelijke vakken voert hij aan, dat de onderscheiden natuurwetenschappen worden gekarakteriseerd door een gemeenschappelijke methodologie en dat hun leerinhouden een geheel representeren en meer betekenis krijgen door het leggen van de onderlinge relaties.

Motieven voor het geheel of ten dele afwijzen van integratie

In de voorgaande paragrafen van de literatuurstudie zijn ook verschillende, meer de persoon van de docenten betreffende factoren - met name in de randvoorwaardelijke sfeer - genoemd die voor docenten een motief kunnen vormen om de natuurwetenschappelijke leerstof niet in geïntegreerde vorm aan te bieden.

- *Het ontbreken van in de praktijk getoetst geïntegreerd lesmateriaal (Van Os, 1995; Schwarze, 1997)*
- *Een onderwijsinrichting in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs die een belemmerende invloed heeft op integratie, zoals onderwijs in gescheiden vakken (Thier, 1973), een eindexamensysteem dat is afgestemd op gescheiden disciplines (Winter, 1970; Thier, 1973; Lambert, 1979), en een wijze van toetsen die niet aansluit bij geïntegreerde curricula (Chisman, 1990b)*
- *Het te weinig aansluiten van de inhoud van geïntegreerde curricula op toekomstige ontwikkelingen, zoals ten aanzien van populatie, energie en milieu (Chisman, 1990b)*

Factoren die voor docenten zelf een motief kunnen vormen om integratie af te wijzen, zijn de volgende:

- *Overbelasting (Chisman, 1990b)*
- *Een sterke affiniteit met gescheiden vakonderwijs als gevolg van hun monodisciplinaire opleiding (Penick, 1990)*
- *Onbekendheid met de materie en de vrees dat zij lesmateriaal moeten ontwikkelen, en dat er verlies van werkgelegenheid zou kunnen optreden (Blum, 1973; Van Os, 1994, 1995)*
- *Een gebrek aan motivatie om hun didactische aanpak te wijzigen (Bonnstetter, 1990) en om onderwijs te geven dat buiten hun vakgebied valt (Rutherford, 1971)*
- *Te beperkte opleidingsmogelijkheden (onder anderen Penick & Bonnstetter, 1990; Chisman,*

1990b; Boersma, De Kievit & Pilgrim, 1990)

- *Lacunae in hun vakinhoudelijke- en pedagogisch-didactische kennis* (Shulman, 1987)

Daarnaast zijn er in de literatuur nog andere motieven aangetroffen die docenten ervan kunnen weerhouden om geïntegreerde leerstof aan te bieden.

Cohen (1977b) vermeldt dat er - behalve veel steun van deskundigen voor integratie - ook een belangrijke stroming bestaat die het behoud van gescheiden natuurwetenschappelijke vakken als afschaduwning van de wetenschappelijke disciplines nastreeft. Deze stroming verdedigt de visie dat mensen conceptuele structuren nodig hebben om verwarring van feiten te voorkomen. Dergelijke structuren zijn volgens vertegenwoordigers van deze stroming gebaseerd op het unieke karakter van zowel de inhoud als van de onderzoeksbenaderingen van de onderscheiden disciplines. Voorstanders van een gescheiden vakkenaanbod voeren volgens Cohen als argumenten aan dat het gescheiden bestuderen van chemie, fysica, biologie en aardwetenschappen als wetenschappelijke disciplines noodzakelijk is om de inhoud en de methodologie van elk te begrijpen.

Diverse auteurs achten integratie van de natuurwetenschappelijke vakken in de hoogste leerjaren niet gewenst en ook niet haalbaar. Jacobson (1971) stelt dat, hoewel het aanbieden van een geïntegreerd 'science'-curriculum waarschijnlijk de meeste kansen biedt aan leerlingen om de aard van de natuurwetenschappen en de culturele dimensie ervan te begrijpen, specialisatie voor leerlingen essentieel is ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk onderzoek (vergelijk Goodlad, 1974).

Op eindexamenniveau is volgens Baez (1976) een grondige bestudering van specifieke problemen te verkiezen boven integratie. Chisman (1990b) refereert in dit verband aan een van de conclusies van de conferentie van Varna in 1968, die volgens hem nog steeds geldig is, namelijk dat de mate van integratie en de balans tussen integratie en coördinatie afhangt van de leeftijd van de leerlingen, het type school en de lokale omstandigheden. In de onderbouw van het voortgezet onderwijs vindt hij een volledig geïntegreerde leergang in experimentele 'science' wenselijk. In de bovenbouw kan een dergelijk curriculum aanbevelenswaardig zijn, vooral voor leerlingen die hebben besloten de natuurwetenschappen niet als examenvak te kiezen. Chisman wijst hierbij op een duidelijk spanningsveld tussen de wens om 'scientific literacy' te verschaffen aan allen en de noodzaak om toekomstige wetenschappers en technologen op te leiden. Ook Kuhn (1997) acht het niet haalbaar, en ook niet gewenst om in de hoogste leerjaren van het voortgezet onderwijs de natuurwetenschappelijke vakken geheel geïntegreerd aan te bieden. Deze auteur ziet wel goede mogelijkheden voor het geïntegreerd aanbieden van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken bij daarvoor geschikte onderwerpen. Hij acht een aanbod van geïntegreerde leerstof pas zinvol wanneer er eerst een solide basis is gelegd bij de afzonderlijke vakken (vergelijk Van Pareren, 1970a,b, 1991). Daarom is Kuhn een voorstander van modern probleemgeori-

enteerd vakonderwijs aangevuld met een aanbod van vakgrensoverschrijdende thema's.

De opzet van het voorgaande deel van het literatuuronderzoek was het verkrijgen van een algemeen - wetenschappelijk onderbouwd - beeld van integratie. Ons inziens heeft dit deel van het literatuuronderzoek voldoende gegevens opgeleverd voor het trekken van enkele conclusies. Uit de uitkomsten van het onderzoek blijkt dat er duidelijke motieven zijn om leerstof(onderdelen) uit de natuurwetenschappelijke vakken geïntegreerd aan te bieden. Voorts heeft een geïntegreerd leerstofaanbod een aantal gunstige effecten op leerlingen en docenten.

Daarnaast is in deze literatuur een aantal integratie bevorderende en remmende factoren beschreven. Integratie bevorderend waren onder meer onderwijsvernieuwingen, terwijl de op gescheiden vakken gerichte eindexamens en het ontbreken van in de praktijk getoetst geïntegreerd lesmateriaal duidelijk als integratie belemmerend c.q. remmend werden beschouwd.

Om een beeld te krijgen van integratie in het Nederlandse algemeen voortgezet onderwijs, gingen we in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur na welke gegevens er waren te vinden over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken en eventueel over de daarmee verbonden vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten. In deze literatuur troffen we een beperkt aantal beschrijvingen van praktijkvoorbeelden van integratie aan.

2.4 Nederlandse praktijkvoorbeelden van integratie van leerstof

In de geraadpleegde Nederlandse (didactische) vakliteratuur vanaf de invoering van de mammoetwet in 1968 troffen we slechts drie voorbeelden aan van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de bovenbouw. Deze praktijkvoorbeelden geven we weer in § 2.4.1.

2.4.1 Praktijkvoorbeelden in de bovenbouw

In deze paragraaf beschrijven we de in de literatuur aangetroffen praktijkvoorbeelden van integratie/samenwerking in de bovenbouw aan de hand van de in het begin van dit hoofdstuk geformuleerde deelonderzoeksvragen.

Casus-1

Bak e.a. (1975) beschrijven een project over vernieuwing van het schoolonderzoek biologie op het Twickel College te Hengelo. In het project bouwden docenten biologie en scheikunde in het schoolonderzoek een biologiepracticum in als werkvorm. Docenten Nederlands verleenden hun medewerking door onderzoeksverslagen van leerlingen te beschouwen als werkstuk voor het schoolonderzoek Nederlands (zie ook Keucheni-

us, 1974, over 'het alternatieve opstel'). Cos & Schouwstra (1990) melden dat dit open schoolonderzoek - met enkele aanpassingen - in 1990 nog steeds vigeerde. Aanleiding voor het project was de onoverzichtelijke situatie bij het schoolonderzoek in het algemeen en bij biologie in het bijzonder.

Het onderzoek dat door groepen leerlingen in het kader van het schoolonderzoek werd uitgevoerd, nam twee à drie maanden in beslag. De leerlingen kozen - in overleg met de docenten - de onderwerpen voor het onderzoek, zoals watercultures, waterzuivering, fototropie, samenstelling van urine, afbreekbaarheid van verpakkingsmateriaal en afbraak van proteïnen.

Ongeveer 180 leerlingen van 5-havo en 6-vwo namen deel aan het project dat gedurende de cursus 1973/74 en 1974/75 werd uitgevoerd.

Volgens Bak e.a. (1975) waren de docenten zeer gemotiveerd voor de geschetste aanpak, waarin een 'echt' leerlingenpracticum paste. Ook de leerlingen werden zeer gemotiveerd door het bewerken van een onderwerp via een 'wetenschappelijke aanpak'. Voorts wijst hij erop dat er ook samenwerkingsmogelijkheden zijn met de vakken natuurkunde en Nederlands. Het grote beslag op tijd en energie vonden de docenten en de amanuensis een nadeel van dit project. Bovendien bleef er minder tijd over voor het verwerken van de verplichte examenstof.

Casus-2

De Jager (1979) beschrijft een project voor leerlingen uit de bovenbouw van havo en vwo waarin docenten biologie en scheikunde samenwerkten. Tijdens dit project voerden groepen leerlingen veldbiologisch onderzoek uit. Docenten vonden integratie van leerstofonderdelen uit biologie en scheikunde zinvol, omdat de oorzaak van biologische verschijnselen vaak is terug te voeren op chemische processen en factoren. Het thema van het project was biologisch en chemisch wateronderzoek. Onderwerpen voor onderzoek waren bijvoorbeeld waterkwaliteit, organismen en chemische bepalingen [Biological Oxygen Demand (BOD), zuurbindend vermogen, gehalte aan organische stof, chloor- en fosfaatgehalte].

De docenten vonden het zeer positief dat iedere leerling een bijdrage leverde aan het project en dat deze bijdragen een samenhangend geheel vormden. De leerlingen bleken zeer gemotiveerd voor het project. Bovendien kregen zij meer oog voor de samenhang van vakken die op school afzonderlijk werden gegeven. De Jager (1979) meent dat bij deze geïntegreerde aanpak wel minder wordt gedaan aan biologie sec, maar dieper kan worden ingegaan op de vraag naar oorzaak en gevolg. Voorts is hij van oordeel - op basis van het voornoemde succesvolle project - dat er behalve met scheikunde ook met andere vakken goede mogelijkheden voor integratie van leerstof zijn. Het nadeel van het werken met kleine groepen was dat de leerlingen het zicht op het geheel dreigden te verliezen. Dit probleem werd zo goed als mogelijk opgevangen door de groepen kennis te laten nemen van elkaars resultaten en deze gezamenlijk te bespreken.

Casus-3

Genseberger (1989a) beschrijft het project 'Natuurhistorische Oriëntatie' dat in 1980 is gestart op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer (OSB) in Amsterdam. Gedurende acht jaar zijn de vakken scheikunde, biologie en natuurkunde in 4-havo en 4-vwo geïntegreerd aangeboden als natuurhistorische oriëntatie. Het project 'Natuurhistorische Oriëntatie' gaat uit van een corpusculaire opvatting van de bouw van de materie en plaatst die in een historische context. Doelstellingen waren het aansluiten bij de denk- en leefwereld van de leerlingen, het leerlingen kennis laten maken met een aantal moderne wetenschappelijke concepten die een rol spelen in de hedendaagse maatschappij en hen - middels een historische context - laten ervaren dat wetenschap mensenwerk is.

Volgens Genseberger (1989a) kunnen de sterke en zwakke kanten van de moderne wetenschap alleen via een geïntegreerde behandeling goed worden begrepen en is een dergelijke opzet vooral van belang voor leerlingen voor wie het onderwijs in de natuurwetenschappen eindonderwijs is. Genseberger is ervan overtuigd dat het ontwikkelen van corpusculaire voorstellingen bij leerlingen een gezamenlijke onderneming moet zijn van docenten in de natuurwetenschappen. Bij het uitwerken van het project zijn dan ook docenten biologie, natuurkunde en scheikunde betrokken.

Bij het ontwerpen van het onderwijs gingen de docenten uit van de vraag welke onderwerpen op het gebied van de natuurwetenschappen, leerlingen op deze leeftijd het meest fascineren. Volgens Genseberger (1989a,b) was dit het denken in en over 'modellen'. Verder bleek dat de context van ontdekkingen uit het verleden vaak materiaal oplevert dat bruikbaar is om bij leerlingen betrokkenheid en begripsvorming te bevorderen.

Genseberger (1989a,b) geeft aan dat de opzet van het onderwijs in de natuurwetenschappen in het project 'Natuurhistorische Oriëntatie' de leerlingen duidelijk motiveerde bij hun pogingen om zelfstandig theorieën te formuleren en modellen te ontwikkelen. Met name meisjes werden aangesproken door de onderwerpen en de opzet van het onderwijs. Door zich in te leven in vroegere tijden begrepen de leerlingen het belang van bepaalde ontdekkingen, alsmede de weerstanden die dergelijke ontdekkingen vanuit de gevestigde wetenschap opriepen (vergelijk Eisen & Stacy, 1992). De gevolgde werkwijze leidde er onder meer toe dat leerlingen hun standpunten ten aanzien van maatschappelijke implicaties van de behandelde onderwerpen beter konden beargumenteren. Verder bleken de meeste leerlingen het hele jaar enthousiast te blijven en werk van hoge kwaliteit te leveren.

Volgens Genseberger (1989b) is voor docenten die de uitgangspunten van het programma onderschrijven, bijscholing in voor hen minder vertrouwde of onbekende onderwerpen een belangrijke voorwaarde om goed te kunnen (samen)werken. De bereidheid om onderwerpen uit andere vakken te bestuderen, is van groot belang voor het welslagen van het programma natuurhistorische oriëntatie. Bovendien moeten docenten zich verdiepen in de visie van waaruit in de verschillende vakken wordt lesgegeven. De auteur meent dat docenten uit verschillende disciplines meestal kunnen vol-

doen aan de genoemde voorwaarden door gezamenlijk het programma uit te voeren en samen de lessen voor te bereiden en te evalueren.

Volgens Genseberger speelt de inrichting van het onderwijs van de school een belangrijke rol bij de realisatie van de natuurhistorische oriëntatie in 4-havo en 4-vwo. Natuur- en scheikunde worden in de eerste drie leerjaren van de OSB als één vak gegeven, omdat het voor de betreffende leeftijdsgroep niet zinvol werd geacht een scheiding aan te brengen tussen een natuurkundige en een scheikundige kijk op de stoffelijke wereld. In afwijking tot wat gebruikelijk is, heeft de havo-afdeling van de OSB een cursusduur van zes jaar. In het vierde leerjaar wordt evenals bij 4-vwo algemeen vormende leerstof aangeboden.

De bovenstaande praktijkvoorbeelden troffen we aan in de literatuur van na de invoering van de mammoetwet in 1968. Omdat het aantal gevonden praktijkvoorbeelden gering was, screenen we ook de literatuur van voor de invoering van de mammoetwet op praktijkvoorbeelden van integratie/samenwerking. Deze screening leverde geen bruikbare informatie op. Om meer gegevens te verkrijgen, besloten we tot mondelinge en schriftelijke oproepen om informatie over deze thematiek (bijlage 1). Deze oproepen leverden evenmin informatie op. Daarom gingen we na of in de literatuur beschrijvingen te vinden waren van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking in de onderbouw van het algemeen voortgezet onderwijs. De gevonden praktijkvoorbeelden geven we weer in § 2.4.2.

2.4.2 Praktijkvoorbeelden in de onderbouw

Casus-1

Van der Veen (1983a) beschrijft een project van de docenten biologie, natuurkunde en scheikunde, dat reeds acht jaar aan het Twickel College in Hengelo gezamenlijk werd uitgevoerd in de onderbouw: het project 'Beginonderwijs in de Natuurwetenschappen' (BON-project). Een aanleiding voor de docenten in de natuurwetenschappen om dit project te entameren was de overeenkomst in hun didactische benadering. Bij alle drie de vakken hield men zich namelijk bezig met probleemoplossend leren en de docenten wilden graag de grenzen tussen de vakken doorbreken, onder meer door voorbeelden voor hun lessen uit andere vakken te halen. De docenten van het Twickel College wilden het inzicht in de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze en de aansluiting bij de leefwereld van de leerlingen bevorderen. Zij beschouwden integratie van de natuurwetenschappelijke vakken als een geschikt middel om dit doel te bereiken. De docenten hadden na uitvoering van het project de indruk dat de integratie van leerstofonderdelen inderdaad als zodanig functioneerde.

Ten behoeve van het project werden drie uitgangspunten geformuleerd, namelijk: (a) vergaande onafhankelijkheid van het onderwijs in de onderbouw van dat in de bovenbouw, (b) een leerlinggerichte inrichting van het onderwijs, en (c) daarmee sa-

menhangend het aanbieden van thema's die zoveel mogelijk aansluiten bij de belangstellingswereld van leerlingen.

De lessen werden gegroepeerd in thema's. De thema's waren zo uitgewerkt dat op de (beperkte) kernstof een groot aantal keuzeonderwerpen volgde. Uit deze keuzeonderwerpen werd door de leerlingen op grond van hun belangstelling gekozen.

In het eerste leerjaar kwam het thema 'Van zien naar waarnemen' aan de orde met als onderwerpen bijvoorbeeld 'horen, voelen en ruiken' (onder meer over zintuigen en leren waarnemen) en als keuzeonderwerpen bijvoorbeeld: 'geluid', 'spiegels en breking', 'gezichtshoek en zien' en 'parallax'. In deze fase lag de nadruk vooral op de kennismaking met het natuurwetenschappelijk denken, en niet zozeer op het verwerken van specifieke leerstof. Er zou een breed scala van onderwerpen aan de orde moeten komen, dat een ruime oriëntatie zou moeten geven op het gebied waarop de natuurwetenschappen zich richten en de methoden die in de natuurwetenschappen worden gehanteerd. In verband met bovenstaande uitgangspunten werd gekozen voor een thematische opzet.

Het thema voor het tweede leerjaar (en een deel van het derde leerjaar) was 'Komen tot analyse' met als onderwerpen bijvoorbeeld 'transport' (onder meer watertransport, stroomsterkte, bloedsomloop), en als keuzeonderwerpen onder meer 'hoge bloeddruk' en 'bloedtransfusie'. In deze fase werden de leerinhouden van de afzonderlijke vakken nog meer samengevoegd en stond de ontwikkeling van 'natuurwetenschappelijke taal' centraal. Dit betekende dat de afzonderlijke vakken niet duidelijk waren te onderscheiden. De natuurwetenschappelijke methode kreeg sterker de nadruk: bijvoorbeeld het leren generaliseren uit waarnemingen. Er moest een duidelijk besef groeien van de overeenkomst in wetenschappelijke werkwijzen in de natuurwetenschappen. Er kwamen geïntegreerde leerstofthema's aan de orde. Ook moest de samenhang van de verschijnselen die in de afzonderlijke thema's ter sprake kwamen, zichtbaar worden. In het derde leerjaar was het thema 'Inzicht, vakoriëntatie' met onder meer als onderwerp 'licht, beelden zien' (onder meer over lichtstralen, spiegels, lenzen, camera en oogafwijkingen). In deze fase - met name in de tweede helft van het derde leerjaar - vond differentiatie plaats naar de afzonderlijke vakken om een vloeiende overgang naar het onderwijs in de verschillende natuurwetenschappen in de bovenbouw te realiseren.

Volgens Van der Veen (1983a) bleek integratie van de natuurwetenschappelijke vakken een zeer geschikt middel om meer leerlinggericht onderwijs te realiseren. De auteur is van mening dat het belangrijker was dat collega's overeenstemden in didactische uitgangspunten, dan dat zij grondig ingevoerd waren in alle drie de natuurwetenschappen.

Casus-2

Van der Veen (1983b) beschrijft ook het leergebied 'Oriëntatie op de natuur' op de middenschool in Lelystad. Deze middenschool vormde sinds 1977 de driejarige basis

van de Scholengemeenschap Lelystad. De bovenbouw van deze school bestaat uit een avo/vwo- en een lto/lhno-afdeling. Per jaar kregen de leerlingen van de - heterogene - middenschoolklassen drie wekelijkse lesuren 'Oriëntatie op de natuur'. In de tweede helft van het derde leerjaar werd één van deze lesuren vervangen door onderwijs in de afzonderlijke vakken om de keuze voor de bovenbouwwakken te vergemakkelijken en om de problematiek van de aansluiting van de onder- en bovenbouw te ondervangen.

De sectie natuurwetenschappen wilde meer aandacht besteden aan de maatschappelijke relevantie van de aangeboden leerstof, waarbij het accent werd gelegd op onder meer meningsvorming over kernenergie en over gezond leven. Belangrijke aspecten van de doelen die de bovengenoemde sectie nastreefde, waren sociaal leren - kinderen moesten met elkaar leren omgaan en overleggen ondanks het verschil in (intellectueel) niveau - en mondigheidsbevordering. Er was veel aandacht voor attitudevorming, maar ook voor de daarvoor onmisbare kenniselementen en vaardigheden. De docenten hadden een lijst met basisvaardigheden opgesteld die een leerling geacht werd in drie jaar te beheersen: essentiële natuurwetenschappelijke vaardigheden (onder meer correct omgaan met meetinstrumenten en een hypothese formuleren naar aanleiding van een probleem), maar ook sociale (zoals samenwerken met anderen in diverse situaties).

Het programma van het leergebied 'Oriëntatie op de natuur' geeft een opbouw te zien van concreet (1e klas: directe waarneming) naar formeel (3e klas: werken met formules en systematisch nadenken). Bij de themakeuze lag het accent op maatschappelijke relevantie en werd rekening gehouden met de belangstelling van de leerlingen. Omdat de vakken ondergeschikt waren gemaakt aan de thema's, werden zij geïntegreerd aangeboden. In het eerste jaar koos men als centraal thema 'De mens en de signalen uit zijn omgeving'. Essentieel daarin was dat de leerlingen leerden kijken en zintuiglijke waarnemingen leerden beschrijven. Onderwerpen die onder meer ter sprake kwamen waren: 'gezichtsbedrog', 'waarneming van geluid', 'evenwicht' en 'verdampen en oplossen'. In het tweede jaar was het thema 'De mens en de elementen uit de omgeving' met onderwerpen als 'eigenschappen van water', 'luchtdruk', 'ademhaling' en 'stevigheid'. De aanpak werd formeler en dit gold ook voor het derde leerjaar waarin men als thema koos 'De mens en de processen uit de omgeving'. Hieronder vielen onderwerpen als 'energie', 'chemische reacties', 'stofwisseling' en 'afweermechanismen'.

Volgens Van der Veen (1983b) vonden de docenten integratie van vakken noodzakelijk, omdat een kind de werkelijkheid niet ziet als opgedeeld in een aantal vakken. De docenten zagen integratie niet als doel op zich. Derhalve werkten zij met centrale thema's - bijvoorbeeld het thema 'natuurprocessen' (soorten energie, omzetten van energie, energieoverdracht via voedsel, kringloop van stoffen en dergelijke) - in plaats van met thema's ontleend aan de afzonderlijke vakken.

Bij de gekozen werkwijze was ieder thema opgedeeld in een aantal onderwijsleereenheden waarbinnen basis- en keuzecursussen te onderscheiden waren. Groepswerk was een belangrijke werkvorm. Van belang daarbij was dat de docent bij zijn instructie zorgde voor een leerweg met een voor leerlingen logische ordening. De docenten constateerden dat de leerlingen als gevolg van deze werkwijze veel gemakkelijker dan

voorheen in staat waren zaken die hun belangstelling hadden, zelfstandig uit te diepen. Ten slotte vermeldt Van der Veen (1983b) dat de samenwerking tussen de docenten van verschillende vakken veel eiste van hun incasseringsvermogen. Over een aantal essentiële zaken, zoals bijvoorbeeld de onderwijsdoelen, moest overeenstemming worden bereikt. Daarnaast constateerde Van der Veen ook verschillen tussen de docenten in de sectie natuurwetenschappen, afhankelijk van hun beroepsprofiel. Natuurkundigen kenden bijvoorbeeld een veel grotere waarde toe aan het experiment dan biologen, maar hadden vaak weinig feeling voor veldwerk, hoewel zij zich al doende ook bewaamden op dit terrein.

Casus-3

Reinders & Hendriks (1989) beschrijven een door de sectie natuuronderwijs van de Christelijke Scholengemeenschap Revis te Deventer ontwikkelde strategie om milieu-educatie niet incidenteel maar structureel aan de orde te stellen binnen het natuuronderwijs. De bovengenoemde scholengemeenschap was één van de projectscholen die participeerden in het door het Instituut voor Leerplan Ontwikkeling (SLO) ontwikkelde project 'Natuuronderwijs voor 12-16 jarigen'. De docenten natuuronderwijs werkten het programma van dit project uit tot een tweejarige variant waarin het accent lag op milieu-educatie en waarin veel terugkeerde uit het bestaande schoolwerkplan. In het binnen de school ontwikkelde programmavoorstel natuuronderwijs waren inhoudselementen gegroepeerd in contextgebieden zoals energie, gezondheid, voeding, communicatie en milieu.

Volgens de docenten natuuronderwijs stelt milieu-educatie specifieke eisen aan inhouden (kennis en vaardigheden), leerlingenactiviteiten (onder andere werkvormen) en aan de compositie van thema's.

Volgens Reinders & Hendriks (1989) vergde de implementatie van een dergelijke programmaverandering in de praktijk een grote motivatie van en een goede samenwerking tussen de docenten. Op de Revis scholengemeenschap bestond er vanaf 1981 overigens al een traditie van het ontwerpen van lesmateriaal voor milieu-educatie en het uitvoeren van veldwerk. Bovendien waren de leerlingen geïnteresseerd, met name omdat milieuproblemen in het voorstel niet centraal stonden.

De docenten zagen als voordeel van het voorgestelde programma dat met milieu-educatie erg veel onderwerpen uit het natuuronderwijs aan de orde konden komen. Milieu-educatie kwam dus niet als aanvulling op het programma; het kwam niet incidenteel maar structureel aan de orde. Er was geen sprake meer van een milieu-thema, maar van een milieuprogramma. Men verwachtte dat deze benadering meer vruchten zou afwerpen.

Een nadeel was dat bijvoorbeeld bij het thema 'Water' de fysische inhouden verdwenen, waarvoor compensatie gezocht moest worden. Het nieuwe programmavoorstel liet ook zien dat de spreiding van de context 'milieu' over het programma natuuronderwijs leidde tot het uiteenvallen van andere contexten. 'Planten en dieren' kwamen bijvoor-

beeld verspreid voor over verschillende thema's binnen het natuuronderwijs. Dat betekende minder aandacht voor anatomie en fysiologie en meer voor ecologie.

De algemene waarde van het bovengeschetste natuuronderwijsprogramma was volgens Reinders & Hendriks (1989) dat het liet zien wat de mogelijkheden waren voor het integreren van nieuwe aandachtsgebieden in bestaande programma's.

Casus-4

Van der Zande, De Jager & Brunsting (1990) geven een beschrijving van de ontwikkeling van lesmateriaal op de proefscholen van het project Natuur- en Milieu-Educatie in het Voortgezet Onderwijs (NME-VO) en van een praktijkvoorbeeld van de invoering van NME-VO materiaal in een bestaand programma. Eerst beschrijven zij de ervaringen van docenten en leerlingen in de onderbouw van proefscholen met lesmateriaal ontwikkeld in het kader van het project NME-VO. Bovendien beschrijven zij hoe deze ervaringen werden verwerkt bij de aanpassing van het lesmateriaal. De wens van docenten om natuur- en milieu-educatie op hun school in te voeren was een motief om deel te nemen aan het project. Bovendien wilden zij graag samenwerken met collega's.

Volgens Van der Zande, De Jager & Brunsting (1990) kan het inpasbaar maken van goed bruikbaar lesmateriaal in de bestaande schoolvakken - een belangrijke taak van het project NME-VO - alleen slagen als gebruik wordt gemaakt van ervaringen van docenten en leerlingen. Op de proefscholen werden die ervaringen dan ook verzameld. Daartoe werden twee wegen gevolgd, namelijk door het inventariseren van de didactische inzichten en ervaringen van docenten en door onderzoek onder leerlingen naar hun beginsituaties en leerwinst.

De inbreng van de docenten beperkte zich niet tot het uitvoeren van de lespakketten, maar bestond ook uit het bij diverse gelegenheden geven van commentaar. Dit commentaar betrof onder meer de omvang van de thema's, de moeilijkheidsgraad en de afstemming tussen de vakken.

De ontwikkeling van het lesmateriaal werd ook steeds ondersteund door onderzoek van de ervaringen van leerlingen. Dit onderzoek was gericht op voorkennis, leereffecten en toepassing van het geleerde. Volgens Van der Zande, De Jager & Brunsting (1990) wezen de leereffecten erop dat de lespakketten 'Waterland' en 'Vlees' bijdroegen aan vergroting van kennis en inzicht in de relatie mens en milieu. Ook de bijstelling van het lesmateriaal vond plaats op geleide van onderzoeksresultaten, waardoor een betere aansluiting werd verkregen op voorkennis en capaciteiten van leerlingen.

Vervolgens beschrijven Van der Zande, De Jager & Brunsting (1990) de invoering van het - op de proefscholen ontwikkelde - NME-VO lesmateriaal op de Openbare Scholengemeenschap Echnaton in Almere, een brede scholengemeenschap met twee heterogene brugjaren. In deze brugjaren werd al gewerkt met geïntegreerde vakgebieden, namelijk aardrijkskunde en geschiedenis én biologie, natuurkunde en scheikunde (kennis der natuur).

Deelname aan het project NME-VO was voor docenten extra interessant, omdat het geïntegreerde schoolvak kennis der natuur in volle ontwikkeling was. Bovendien zochten men vormen om het omgevingsgerichte onderwijs binnen dit vak te combineren met dat binnen de combinatie aardrijkskunde/geschiedenis. Ten slotte wilde men vorming bieden in een meer maatschappelijke context - bijvoorbeeld in de vorm van natuur- en milieu-educatie - gekoppeld aan relevante vaardigheden nodig voor onderzoek en besluitvorming. Het NME-VO materiaal bood de kans om in de praktijk te beproeven of de bovengenoemde doelstellingen haalbaar waren. De auteurs merken op dat de leerlingen tevreden waren over het lesmateriaal van het gekozen lespakket 'Waterland'. Dit pakket bevatte onder meer onderwerpen als 'onderzoekstechnieken', 'waterkwaliteit', 'afvallozing' en 'bodemonderzoek'.

Tijdens de theorielessen bleek dat het oriënterend veldwerk de motivatie van de leerlingen had bevorderd en hen een concreet aanknopingspunt voor verdere theorievorming bood. Docenten waren tevreden, omdat tijdens discussies in de klas de meerwaarde van behandeling van eenzelfde onderwerp bij meerdere vakken bleek. Na deze proefuitvoering werd het lespakket - in iets aangepaste vorm - in het curriculum van het eerste leerjaar opgenomen. In het schooljaar 1989/90 werd het curriculum voor de vierde keer uitgevoerd. Ook een aantal andere NME-VO lespakketten zoals 'Bestrijdingsmiddelen' en 'Brandstof' zijn min of meer definitief in het leerplan opgenomen.

2.5 Typologie van vormen van integratie van leerstof

De in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur beschreven praktijkvoorbeelden van integratie van leerstof laten enkele vormen van integratie zien. Om deze te kunnen typeren is het noodzakelijk te beschikken over een categoriseringssysteem.

In de wetenschappelijke literatuur zijn enkele typologieën van vormen van 'integrated science' aangetroffen (Rutherford & Gardner, 1971; Blum, 1973; Van Os, 1994). Omdat deze typologieën zijn gebaseerd op verschillende ordeningscriteria, vertonen de beschrijvingen van de vormen van integratie weinig uniformiteit. Enkele auteurs wijzen erop dat er in de praktijk een groot aantal (overgangs)vormen wordt gevonden (Blum, 1973; Baez, 1976; Cohen, 1977b). Gezien de veelheid van overgangsvormen is er in wezen sprake van een continuüm van vormen van integratie.

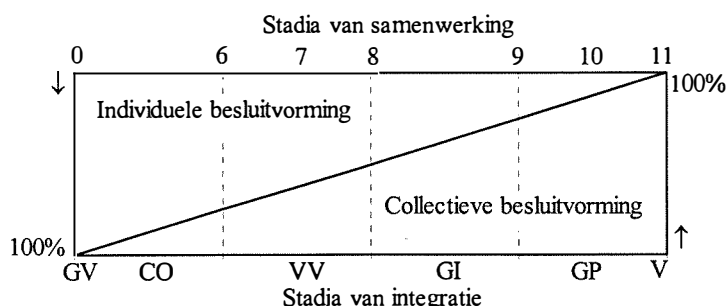
In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur vonden we eveneens enkele typologieën van integratie (Timmermans, 1992, 1993; Van der Loo & Pieters, 1989). De in deze literatuur gevonden beschrijvingen van vormen van integratie van leerstof betreffen voornamelijk de basisvorming (Annega, 1992; De Kievit, 1988; Van Noordwijk-Van Veen, 1975; Timmermans, 1990) en natuur- en milieu-educatie in de onderbouw (Anonymus, 1986; Van Hilten & Sieben, 1986; De Kievit, 1987; Pieters, 1990).

Ook de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur beschreven vormen van integratie worden gekenmerkt door bepaalde configuraties van variabelen op grond waarvan er

vormen werden onderscheiden zoals coördinatie, vakkenverbinding, projecten enzovoort. Deze vormen van integratie zijn overigens ook weinig eenduidig omschreven.

De beschrijvingen van vormen van integratie van leerstof in de wetenschappelijke literatuur en in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur bleken niet zonder meer toereikend om een categoriseringssysteem te ontwikkelen. Daarom stelden we een typologie op van vormen van integratie om te komen tot een grotere eenduidigheid in de gebruikte terminologie en om een basis te hebben voor het classificeren van de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aangetroffen praktijkvoorbeelden. Daarbij maakten we gebruik van de hierboven aangegeven typologieën.

In figuur 2.1 geven we het continuüm weer van de mate van integratie van leerstofonderdelen uit de afzonderlijke vakken. Omdat ons inziens voor het bereiken van integratie vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten noodzakelijk is, geven we in dit continuüm ook de mate aan waarin deze samenwerking tussen docenten van de afzonderlijke vakken met betrekking tot bepaalde vormen van integratie optreedt.



Figuur 2.1: Continuüm van de mate waarin integratie van leerstofonderdelen uit afzonderlijke vakken c.q. vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten kan optreden.

Stadia van integratie van leerstofonderdelen: GV: gescheiden vakken; CO: coördinatie; VV: vakkenverbinding; GI: gedeeltelijke integratie; GP: gezamenlijk project; VI: volledige integratie.

Stadia van samenwerking: 1-5, zie tekst; 6: gezamenlijk ontwerpen van een curriculumonderdeel met vakgrensoverschrijdende - en eventueel vakoverstijgende - leerstofelementen/vaardigheden bij één onderwerp, al dan niet met gelijke bijdrage van de afzonderlijke vakken; 7: idem bij meer onderwerpen; 8: samenvoegen van een selectie van de leerstof uit de deelnemende vakken voor een deel van het schooljaar; 9: gezamenlijk ontwerpen van geïntegreerde thema's van relatief kleine omvang, uit te voeren tijdens de vrijgekomen lesuren van de deelnemende vakken; 10: idem buiten deze lesuren, bijvoorbeeld tijdens een werkweek; 11: samenvoegen van de afzonderlijke vakken tot een nieuw vak-/leergebied.

Op de onderste horizontale lijn geven we - gescheiden door verticale lijnen - vijf stadia aan van integratie van leerstofonderdelen uit de afzonderlijke vakken. Deze stadia zijn als het ware de resultanten van de hieronder geschetste stadia van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten. In de figuur komt de met de stadia van integratie gepaard gaande mate van collectieve besluitvorming door docenten overeen met het gebied on-

der de diagonaal.

Op de bovenste horizontale lijn geven we de stadia aan van de mate waarin vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten kan optreden bij het integreren van leerstofonderdelen uit de afzonderlijke natuurwetenschappelijke vakken. In het bijschrift bij figuur 2.1 zijn deze stadia kort omschreven. De beschreven stadia zijn dusdanig gerangschikt dat er van stadium 1 tot en met stadium 11 sprake is van een toenemende intensiteit van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten. Dit houdt tevens in een afname in de mate van individuele besluitvorming - autonomie - van docenten, dat wil zeggen een afname in de mate waarin de individuele docenten van de samenwerkende vakken - binnen de door de wet, school en sectie gestelde regels - de vrijheid hebben hun onderwijs naar eigen inzicht in te richten. In figuur 2.1 is deze afname van de mate van individuele besluitvorming af te lezen aan het gebied boven de diagonaal.

Wat betreft de indeling in stadia van vakinhoudelijke samenwerking in het continuüm - met name in het rechter gedeelte ervan - streven we niet naar een sterke detaillering. Bij toenemende vakinhoudelijke samenwerking blijken de mogelijkheden voor integratie van leerstof ook toe te nemen. Zo kan 'gedeeltelijke integratie' van leerstof - als resultante van de samenwerking tussen docenten zoals aangegeven in stadium 8 - worden onderverdeeld naar de mate van herkenbaarheid van de afzonderlijke vakken in het nieuwe vak-/leergebied. Verder speelt bij deze onderverdeling een rol of het betreffende onderwijs wordt gegeven door docenten uit één of uit meer deelnemende disciplines.

In figuur 2.1 hebben we de eerste vijf stadia van vakinhoudelijke samenwerking niet aangegeven. Deze stadia betreffen hoofdzakelijk het uitwisselen van informatie en het maken van afspraken door de docenten van de afzonderlijke vakken. We geven hieronder een kort overzicht van deze stadia.

Stadium 1: éénzijdig informatie verstrekken; stadium 2: uitwisselen van informatie; stadium 3: bespreken van informatie; stadium 4: overnemen van terminologie van andere discipline; stadium 5: bereiken van consensus over gezamenlijke terminologie.

Van Wessum (1997) onderscheidt *binnen* secties vier samenwerkingsvormen, namelijk overleg plegen, afspraken maken, hulp en assistentie bieden en gezamenlijk werk verrichten. Overleg betreft onder meer de volgorde waarin lesinhouden worden gegeven en de normering van toetsvragen. Afspraken maken heeft betrekking op onderwerpen die in de lessen aan de orde worden gesteld, op de afstemming van de didactische werkvormen op verschillen tussen leerlingen én op afspraken over de normering van toetsvragen. Hulp en assistentie houdt in het informeren bij sectiegenoten over bijscholingsmogelijkheden, bespreken welke didactische werkvorm het beste kan worden gebruikt en hulp vragen bij twijfel over de formulering van toetsvragen. Gezamenlijk werk betekent samen met sectiegenoten aanvullend lesmateriaal ontwikkelen, samen met sectiegenoten zoeken naar vakdidactische oplossingen voor leerlingen met proble-

men, lessen van sectiegenoten bijwonen om didactische ideeën op te doen en samenwerking in de sectie bij het beoordelen van toetsvragen.

De minder complexe samenwerkingsvormen, waarbij docenten redelijk onafhankelijk van elkaar kunnen werken, komen volgens Van Wessum meer voor dan de meer complexe samenwerkingsvormen, waarbij de onderlinge afhankelijkheid van de docenten toeneemt. Little (1990) spreekt in dit verband van 'wederzijdse afhankelijkheid'. Zij plaatst de samenwerkingsvormen op een continuüm van wederzijdse afhankelijkheid in collegiale interactie. Het begrip afhankelijkheid geeft de mate van autonomie van docenten weer en in welke mate samenwerkingsinitiatieven plaatsvinden tussen docenten op het gebied van onderwijsinhoudelijke zaken. Little gaat ervan uit dat een bepaald niveau van wederzijdse afhankelijkheid de kans op wederzijdse beïnvloeding bepaalt. Met het oog op een toenemende samenwerking tussen docenten bij het streven naar volledige integratie van twee of meer vakken, onderscheidt Van Os (1994) vier fasen van samenwerking tussen docenten, namelijk informeren, afstemmen, samenwerken en combineren. De genoemde fasen hebben betrekking op een toenemende mate van vakkenintegratie. Vaksectie-overstijgende samenwerking tussen docenten komt overigens weinig voor (Veenhoven, 1997; vergelijk Reezicht, Den Boer & Harms, 1996). Samenwerking binnen sectieverband wordt volgens Veenhoven in alle onderzochte scholen veel meer aangetroffen (vergelijk Van Wessum, 1997).

Wanneer we de door ons geformuleerde stadia van samenwerking vergelijken met die Van Wessum (1997) aangeeft, dan vallen de stadia 1-5 in grote trekken onder 'overleg' en het 'maken van afspraken'. De stadia 6-11 betreffen 'gezamenlijk werk'. Ons inziens kunnen 'hulp bieden en assistentie verlenen' betrekking hebben op alle stadia van samenwerking. Vergeleken met fasen van samenwerking zoals geformuleerd door Van Os (1994), vallen in hoofdzaak de stadia 1-5 onder 'informeren' en 'afstemmen', de stadia 6-10 onder 'samenwerken' en stadium 11 onder 'combineren'. De in figuur 2.1 aangegeven afnemende mate van individuele en toenemende mate van collectieve besluitvorming hebben betrekking op de mate van afhankelijkheid - de autonomie - van de docent en komen overeen met het door Little (1990) aangegeven continuüm van wederzijdse afhankelijkheid in collegiale interactie. Ook Van Wessum (1997) wijst op een toenemende onderlinge afhankelijkheid van de docenten bij meer complexe samenwerkingsvormen.

Om het verband tussen 'samenwerking', 'integratie' en de mate van 'individuele c.q. collectieve besluitvorming' te verduidelijken, bespreken we twee stadia van samenwerking tussen docenten nader, namelijk stadium 0 en stadium 11. Stadium 0 betekent dat er geen sprake is van samenwerking. De mate van individuele besluitvorming - de autonomie - van docenten is maximaal en er is geen sprake van integratie van leerstof, maar van gescheiden vakken (GV). Stadium 11 geeft aan dat de samenwerking maximaal is en dat er geen sprake meer is van autonomie van docenten. Docenten ontwikkelen en/of verzorgen gezamenlijk een volledig geïntegreerd curriculum. Dit betekent een maximale - volledige - integratie van de leerstof (VI). We kunnen concluderen dat

bij toenemende integratie van de leerstof de mate van samenwerking - en daarmee van de collectieve besluitvorming - tussen docenten toeneemt. Zo kunnen bij *een gezamenlijk project* docenten in samenwerking geïntegreerde leerstof ontwikkelen voor een aantal lessen die worden uitgevoerd door de docenten van één van de deelnemende vakken. Bij de uitvoering van zo'n geïntegreerd curriculumonderdeel is er - na een periode van implementatie - echter geen of nauwelijks meer sprake van daadwerkelijke samenwerking: de betreffende docenten kunnen het curriculumonderdeel zelfstandig uitvoeren. Bij *volledige integratie* van vakken is een nieuw vak ontstaan, bijvoorbeeld 'science', dat wordt gegeven door daarvoor opgeleide docenten. Het ontwerpen van dergelijke geïntegreerde curricula is vanzelfsprekend niet meer een taak van docenten in de dagelijkse praktijk, maar van professionele leerplanontwikkelaars en in aansluiting daarop van schoolboekschrijvers.

Het zal duidelijk zijn dat tussen de twee hiervoor geschetste voorbeelden een scala van mogelijke vormen van integratie/samenwerking ligt.

Om redenen van praktische bruikbaarheid hebben we een typologie van de mate van integratie van leerstof opgesteld. We onderscheiden vijf stadia van integratie (figuur 2.1). De namen komen in de literatuur voor, maar de erbij behorende stadia zijn niet helder en eenduidig omschreven. Daarom definiëren we deze stadia van integratie op-nieuw. De typologie zal worden gebruikt om de vormen van integratie in de praktijk-voorbeelden die we in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur literatuur aantreffen, te classificeren (§ 2.4).

In tabel 2.5 geven we een overzicht van de vijf onderscheiden stadia van integratie van leerstofonderdelen die we daarna kort toelichten. Elk volgend stadium impliceert een voorgaand.

Tabel 2.5: Typologie van de mate van integratie van leerstofonderdelen.

a Coördinatie	Een aanzet tot integratie van overlappende of op elkaar aansluitende leerstofonderdelen uit twee of meer schoolvakken, gekenmerkt door informatieuitwisseling tussen docenten over de leerstof en het gebruik van eenzelfde terminologie.
b Vakkenverbinding	Een vorm van integratie die zich onderscheidt van coördinatie door een in onderling overleg vastgestelde leerstofsequentie van leerstofonderdelen met een daarbij behorende taakverdeling van docenten in het onderwijs.
c Gedeeltelijke integratie	Een vorm van integratie die zich onderscheidt van vakkenverbinding door een gezamenlijk aanbod van geïntegreerde leerstof gedurende een deel van het schooljaar, waarbij de deelnemende vakken nog steeds hun eigen doelstellingen houden.
d Gezamenlijk project	Een vorm van integratie die zich onderscheidt van gedeeltelijke integra-

- | | |
|------------------------|---|
| | tie door een thematisch onderwijsaanbod van meestal korte duur en waarbij er sprake is van gemeenschappelijke doelstellingen. |
| e Volledige integratie | Een vorm van integratie die zich onderscheidt van een gezamenlijk project doordat de deelnemende vakken zijn opgegaan in een nieuw vak. |

Omdat er in feite sprake is van een continuüm van de mate van integratie van leerstof, zijn de grenzen tussen de onderscheiden vormen van integratie (tamelijk) arbitrair. In de praktijk aangetroffen vormen van integratie zullen dan ook niet altijd zonder meer inpasbaar zijn in de bovenstaande typologie. Bij de typering van de onderscheiden vormen van integratie van leerstofonderdelen hanteren we kenmerken van verschillende aard, zoals de tijdsduur, het al of niet hebben van gemeenschappelijke doelstellingen, de leerstofsequentie van vakgrensoverschrijdende leerstofelementen en de mate van geïntegreerdheid van de leerstof.

Hieronder gaan we nader in op de kenmerken van de onderscheiden vormen van integratie, waarbij we erop wijzen dat - gezien de aard van een continuüm - allerlei overgangsvormen denkbaar zijn.

Bij coördinatie blijft het lesrooster van de deelnemende vakken intact. Het belang van deze vakken bij integratie van leerstof kan verschillend zijn. Zo kan in het onderwijs één vak profiteren van de integratie, terwijl het andere vak alleen als leverancier van informatie dient. Bij een verdergaande vorm van integratie vindt informatieverstrekking tussen docenten wederzijds plaats. Vervolgens zijn er vormen van integratie denkbaar die meer geformaliseerd zijn, waarbij docenten bijvoorbeeld afspraken hebben gemaakt over het gebruik van terminologie of over overlappende leerstof.

Bij vakkenverbinding gaat de integratie een stap verder. De docenten van de deelnemende vakken hebben in onderling overleg voor de betreffende leerstofonderdelen een leerstofsequentie vastgesteld met een daarbij behorende taakverdeling van docenten in het onderwijs. Bij het aanbieden van de leerstof hanteren zij een uniforme didactische benadering. Bij vakkenverbinding kunnen we overigens allerlei gradaties in de mate van integratie van leerstof onderscheiden. Zo kan het aantal onderwerpen variëren dat in deze vorm van integratie wordt aangeboden en kunnen de onderwerpen ook meer of minder lessen omvatten. Bij vakkenverbinding is het niet noodzakelijk dat de lessen van de deelnemende vakken steeds op elkaar aansluiten. Het kan om didactische redenen gewenst zijn tussentijds een niet-geïntegreerd leerstofonderdeel te behandelen.

We merken op dat vormen van integratie als coördinatie, vakkenverbinding en projectonderwijs structureel of incidenteel van aard kunnen zijn. Bij een structurele vorm denken we aan het aanbieden van deze geïntegreerde leerstof gedurende een aantal jaren.

Gedeeltelijke integratie heeft een structureel karakter. Een voorwaarde is dat deze vorm van integratie geldt voor een aantal jaren, bijvoorbeeld een aantal maanden per jaar. Bij de taakverdeling speelt het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof een belangrijke rol. Bij gedeeltelijke integratie behouden de deelnemende vakken hun identiteit,

er is sprake van eigen doelstellingen.

In de periode van het schooljaar waarin gedeeltelijke integratie wordt uitgevoerd, behandelen de docenten tijdens hun lessen de geïntegreerde leerstofonderdelen. In sommige gevallen is een aanpassing van het lesrooster gewenst, bijvoorbeeld als de docenten een practicum (in het veld) willen inbouwen in het deelcurriculum.

Kenmerkend voor een gezamenlijk project is het thematische karakter ervan, wat inhoudt dat er sprake is van gemeenschappelijke doelstellingen. Tijdens de looptijd van een gezamenlijk project vervallen alle lessen van de deelnemende vakken en wordt de vrijgekomen tijd aan een bepaald thema besteed. De lessen van niet deelnemende vakken gaan intussen gewoon door. Overigens kan een project ook worden opgezet als een activiteit onafhankelijk van het lesrooster, bijvoorbeeld tijdens een werkweek.

Ook met betrekking tot andere aspecten hoeft projectonderwijs geen uniform gebeuren te zijn. Zo kan men in projecten kiezen voor groepswork als werkvorm. De grootte en samenstelling van de groepen leerlingen kan sterk variëren. Voorts bestaat de mogelijkheid om de groepen aan verschillende aspecten van een onderwerp te laten werken (zogenaamd arbeidsverdelend groepswork). Daarnaast kunnen leerlingen eventueel - in overleg met de docenten - ook zelf onderwerpen kiezen. Ook de tijdsduur van projecten - gewoonlijk één of enkele weken - kan variëren en men kan één of meer projecten per schooljaar uitvoeren.

Een gezamenlijk project heeft nogal eens een incidenteel maar vaak ook een structureel karakter en de mate van integratie van de leerstofonderdelen binnen een bepaald thema kan variëren. Verder hebben docenten bij de planning van een project - mede door de gewoonlijk korte duur ervan - een zekere vrijheid. Zij kunnen bijvoorbeeld rekening houden met de weersomstandigheden wanneer het veldwerk betreft of om andere redenen op korte termijn wijzigingen aanbrengen in tijdstip, tijdsduur of inhoud van het project.

Bij volledige integratie van vakken ontstaat uit de deelnemende vakken één nieuw vak. De bijdragen van de oorspronkelijke vakken kunnen nog duidelijk zichtbaar zijn, maar ze kunnen in andere gevallen ook niet meer aanwijsbaar zijn. Afhankelijk van de moeilijkheidsgraad van het nieuwe vak kan dit worden gegeven door een docent van één van de deelnemende vakken, door een aantal samenwerkende docenten, of door een apart daarvoor opgeleide docent.

Wanneer we de typologie van Blum (§ 2.3, tabel 2.2) vergelijken met de door ons opgestelde typologie (tabel 2.5) dan kunnen we de volgende kanttekeningen maken. Blum (1973) spreekt van een gecombineerd 'science'-programma. In feite betreft dit programma een gecoördineerde leergang waarbij de leerstofsequentie wel vaststaat, maar er geen sprake is van echte integratie. 'Een volledig geïntegreerd programma' in de typologie van Blum komt - gezien de omschrijving ervan - het meest overeen met een 'gezamenlijk project' in onze typologie. Een vergelijking van de bovengenoemde typologieën wordt bemoeilijkt door het gegeven dat Blum slechts drie vormen van integratie onderscheidt. Overigens merkt ook hij op dat er in de praktijk sprake is van een reeks van vormen van integratie.

Met behulp van de opgestelde typologie van integratie van leerstof (tabel 2.5) bleek het mogelijk om de vormen van integratie in de praktijkvoorbeelden die we in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aantreffen (§ 2.4), te classificeren. We geven hieronder per casus een kort gemotiveerde classificatie van de vorm van integratie.

Praktijkvoorbeelden in de bovenbouw (§ 2.4.1)

Casus-1

Bij bepaalde biochemische onderzoeken werkten groepen leerlingen gedurende een beperkte periode samen. De leerlingen vergeleken de uitkomsten van biologische waarnemingen en chemische bepalingen en trachtten deze in samenhang te verklaren. De werktijden waren - althans gedeeltelijk - onafhankelijk van het normale lesrooster. De vorm van integratie in deze casus kunnen we dan ook classificeren als een gezamenlijk project van biologie en scheikunde (tabel 2.5: d).

Casus-2

Het veldbiologisch-chemisch onderzoek door groepen leerlingen vond plaats gedurende een begrensde periode, namelijk tijdens een werkweek. Dus een periode onafhankelijk van het normale lesrooster. We kunnen de vorm van integratie in deze casus dan ook classificeren als een gezamenlijk project van biologie en scheikunde (tabel 2.5: d).

Casus-3

Omdat docenten gezamenlijk een geïntegreerde cursus 'natuurhistorische oriëntatie' hebben ontwikkeld voor een geheel schooljaar, kunnen we de vorm van integratie in deze casus classificeren als volledige integratie (tabel 2.5: e).

Praktijkvoorbeelden in de onderbouw (§ 2.4.2)

Casus-1

Het onderwijs in de onderbouw werd grotendeels gegeven aan de hand van volledig geïntegreerde thema's. De docenten hebben ook bij de behandeling van de niet-geïntegreerde thema's samengewerkt, met name in de fase van differentiatie naar afzonderlijke vakken in het derde leerjaar. De vormen van integratie in deze casus kunnen we dan ook classificeren als volledige integratie (tabel 2.5: e) en coördinatie c.q. vakkenverbinding (tabel 2.5: a,b).

Casus-2

De docenten ordenden de verschijnselen uit de natuurlijke omgeving van de leerlingen in drie centrale thema's. De vakken biologie, natuurkunde en scheikunde waren hierbij ondergeschikt aan de thema's. De vorm van integratie in deze casus kunnen we dan ook classificeren als volledige integratie (tabel 2.5: e).

Casus-3

Milieu-educatie werd in de onderbouw gegeven aan de hand van volledig geïntegreerde thema's. De vorm van integratie in casus-3 kunnen we dan ook classificeren als volledige integratie (tabel 2.5: e).

Casus-4

Voor het onderdeel veldwerk was er voor leerlingen van de brugklassen één dagdeel (vier lesuren) gereserveerd. Bij dit veldwerk waren docenten betrokken van de geïntegreerde vakgebieden biologie/natuurkunde/scheikunde ('kennis der natuur') en aardrijkskunde/geschiedenis. De uitwerking van de gegevens van het veldwerk en de behandeling van het theoretische gedeelte van het lespakket vond plaats binnen voornoemde twee vakgebieden. De vormen van integratie in deze casus kunnen we als volgt classificeren. Bij het veldwerk kunnen we spreken van een (klein) gezamenlijk project (tabel 2.5: d); de bespreking van gegevens en behandeling van theorie binnen de twee geïntegreerde vakgebieden kunnen we aanduiden met volledige integratie (tabel 2.5: e).

2.6 Bespreking van de uitkomsten van de literatuurstudie en beantwoording van onderzoeksvraag A

In deze paragraaf bespreken we de uitkomsten van de literatuurstudie. Dit ter beantwoording van onderzoeksvraag A: '*Welke gegevens met betrekking tot integratie van leerstof worden aangetroffen in de literatuur?*' Bij deze bespreking volgen we de bij deze vraag geformuleerde deelvragen (§ 2.1 en § 2.2). Per deelvraag gaan we eerst in op de gegevens verkregen uit de - voornamelijk - wetenschappelijke literatuur, zoals beschreven in deel één van de literatuurstudie. Vervolgens gaan we na in hoeverre de informatie verkregen uit de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur beschreven praktijkvoorbeelden van integratie, overeenkomt met de gegevens uit de wetenschappelijke literatuur. Tot slot geven we - in de vorm van een conclusie - een antwoord op elk van de deelvragen.

2.6.1 Vormen van integratie

In deze paragraaf geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: *‘Welke vormen van integratie zijn beschreven?’*

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) zijn diverse vormen van ‘integrated science’ aangetroffen, zoals coördinatie, combinatie, thematisch onderwijs en volledige integratie (Rutherford & Gardner, 1971; Blum, 1973; Van Os, 1994). In deze literatuur is de term ‘vormen’ in verschillende betekenissen gebruikt. ‘Vormen’ kan zowel duiden op het aantal bij integratie betrokken (onderdelen van) vakken als op de mate van integratie van leerstof (onderdelen). Met betrekking tot integratie in de Nederlandse basisvorming spreekt Van Os (1994) van samenhang binnen één vak en tussen verwante vakken, waarbij uiteindelijk vakkencombinaties worden gevormd. Hierbij ontstaan nieuwe vakken als gevolg van volledige integratie. Overigens kunnen er in de praktijk tussen de gepresenteerde vormen van integratie allerlei overgangsvormen worden aangetroffen.

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur werd slechts een beperkt aantal praktijkvoorbeelden van integratie aangetroffen. In twee praktijkvoorbeelden uit de bovenbouw vond de integratie plaats in de vorm van een gezamenlijk project en in één geval was er sprake van volledige integratie (§ 2.4.1). In de vier praktijkvoorbeelden uit de onderbouw vonden we als vorm van integratie uitsluitend volledige integratie. In één casus is er waarschijnlijk ook sprake van coördinatie c.q. vakkenverbinding (§ 2.4.2).

In de beschreven praktijkvoorbeelden troffen we dus eigenlijk slechts twee van de in onze typologie beschreven vormen van integratie aan, namelijk een gezamenlijk project en volledige integratie. We merken daarbij op dat een gezamenlijk project eigenlijk kan worden beschouwd als een kortdurende vorm van volledige integratie. Het bleek dat de vormen van integratie in de in § 2.4 beschreven casussen - mede als gevolg van de geringe variatie - passen binnen de door ons ontworpen typologie (§ 2.5 tabel 2.5). Uit de beschrijvingen van de casussen is echter niet duidelijk hoe de docenten in de praktijk de integratie van leerstofonderdelen uit de afzonderlijke vakken precies hebben vormgegeven.

Samenvattend concluderen we dat er in de beschreven Nederlandse praktijkvoorbeelden slechts twee vormen van integratie zijn aangetroffen. De door ons ontworpen typologie bleek bruikbaar voor het classificeren van deze vormen. Omdat we alleen de Nederlandse (didactische) vakliteratuur hebben gescreend op het voorkomen van praktijkvoorbeelden van integratie, kunnen we geen uitspraak doen over de mogelijke bruikbaarheid van onze typologie voor het classificeren van vormen van integratie in praktijkvoorbeelden in de internationale literatuur, maar gezien het algemene karakter van deze typologie en de ervaring hiermee in de Nederlandse situatie, lijkt dit wel aannemelijk.

2.6.2 Onderwerpen bij integratie

In deze paragraaf geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: *'Bij welke onderwerpen vond integratie plaats?'* In het eerste deel van de literatuurstudie is deze deelvraag buiten beschouwing gelaten, omdat de opzet van dit deel van het literatuuronderzoek was het scheppen van een wetenschappelijk onderbouwd algemeen beeld van integratie. De onderstaande gegevens zijn verkregen uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur.

Bij de integratie van leerstof door samenwerkende docenten, waren in de beschreven praktijkvoorbeelden uit de bovenbouw in twee gevallen de schoolvakken biologie en scheikunde betrokken en in één geval alle drie de natuurwetenschappen. De onderwerpen hierbij waren onder meer:

- 'Biologisch en chemisch onderzoek met betrekking tot watercultures', 'waterzuivering' en 'samenstelling van urine' (zie § 2.4.1 casus 1).
- 'Biologisch en chemisch wateronderzoek over waterkwaliteit', 'chemische bepalingen' en 'organismen' (§ 2.4.1 casus 2).
- 'Biologische, chemische en fysische aspecten van de gevolgen van straling', 'bestrijding van ziekten' en 'ontwikkelingen in de moleculaire genetica' (§ 2.4.1 casus 3).

Bij de integratie van leerstof in de onderbouw waren alle drie de natuurwetenschappen betrokken. De onderwerpen waren onder meer:

- 'Zintuigen', 'transport', 'licht en beelden zien' (§ 2.4.2 casus 1).
- 'Soorten energie', 'gezondheid', 'voeding' en 'milieu' (§ 2.4.2 casus 2).
- 'Gezichtsbedrog', 'eigenschappen van water', 'ademhaling', 'energie' en 'stofwisseling' (§ 2.4.2 casus 3).
- 'Onderzoekstechnieken', 'afvallozing', 'bodemonderzoek', 'bestrijdingsmiddelen' en 'brandstof' (§ 2.4.2 casus 4).

Uit de beschreven praktijkvoorbeelden blijkt dat de docenten bij de keuze van onderwerpen voor integratie van leerstof ernaar streefden te kiezen voor onderwerpen die zich lenen voor praktisch onderzoek, onderwerpen waarbij leerlingen kennis maken met moderne wetenschappelijke concepten én onderwerpen die aansluiten bij de belangstelling van leerlingen. De onderwerpen uit de beschreven praktijkvoorbeelden in de bovenbouw hebben geen rechtstreeks verband met de eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken van vwo of havo, maar hebben betrekking op veldbiologisch onderzoek, het schoolonderzoek of leerstof uit het vierde leerjaar.

Uit de screening van de Nederlandse (didactische) vakliteratuur blijkt niet welke andere thema's c.q. onderwerpen docenten bij uitstek geschikt vinden voor integratie van leerstof in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs.

2.6.3 Effecten van integratie

In deze paragraaf geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: *‘Welke effecten van integratie zijn beschreven?’* We besteden aandacht aan een aantal verwachte/beoogde effecten van integratie van leerstof en van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen. De beschreven effecten troffen we niet alleen aan in de beschreven praktijkvoorbeelden, maar vooral ook in overige geraadpleegde Nederlandse (didactische) vakliteratuur.

Geïntegreerde leerstof sluit beter aan bij de leef- en ervaringswereld van leerlingen en maakt het onderwijs daardoor kindvriendelijker

Uit de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) blijkt dat geïntegreerd onderwijs het meest aansluit bij de ongedeelde beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen. Wanneer docenten willen aansluiten bij deze wereld, dan zullen zij volgens verschillende auteurs geïntegreerd lesmateriaal moeten aanbieden (Holman, 1990; Unesco, 1990; Van Os, 1994; Verhulst 1994; Roelofs, Franssen & Groot-scholten, 1996). Een meer leefwereld-gerichte leeromgeving heeft bij leerlingen een hogere leswaardering en sterkere ‘gevoelens van leerzaamheid’ tot gevolg (Wierstra, 1990) en vermindert de kans op systeemscheiding (Van Parreren, 1970a,b, 1991). Een aanbod van geïntegreerd lesmateriaal in de vorm van interdisciplinaire taken sluit tevens aan bij de werkwijze van wetenschappers en praktijkbeoefenaren, die veelal niet strikt vanuit één discipline werken (Van Parreren, 1970a,b, 1991; Imelman & Meijer, 1986; Roelofs, Franssen & Groot-scholten, 1996).

Ook in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur wordt gewezen op het belang van het aansluiten in het onderwijs bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen (Dolné, 1975; Van Kleef, 1983; Van der Veen, 1983; De Kievit, 1988).

Integratie kan de motivatie van zowel docenten als leerlingen bevorderen

Uit de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) blijkt dat het aanbieden van geïntegreerd ‘science’-onderwijs een motiverende invloed heeft op leerlingen. De toegenomen motivatie van leerlingen voor dergelijk onderwijs bleek uit een sterk gestegen percentage leerlingen dat in het voortgezet onderwijs ‘science’ als keuzevak koos. Bovendien viel - bij toelating tot een ‘college’ - de keuze van veel leerlingen op ‘science’ als hoofdvak (Richardson & Showalter, 1967; Showalter, 1971; vergelijk Herr, 1971). Volgens de leerlingen sluit een geïntegreerd ‘science’-programma beter aan bij hun behoeften dan het geval is bij een traditioneel ‘science’-programma (Pfeiffer, 1969).

De invoering van de Nederlandse basisvorming kan een gunstige invloed hebben op de motivatie van leerlingen. Dit is met name het geval wanneer het streven naar meer samenhang tussen de vakken resulteert in volledige integratie van vakken. Aan de leerlingen kunnen de betreffende vakken dan als een eenheid worden aangeboden zonder

gevaar voor overlap en fragmentatie (Verhulst, 1994; vergelijk Baez, 1976; Unesco, 1990). Bovendien worden de leerlingen geconfronteerd met minder docenten (Verhulst, 1994).

Verder wijst Morton (1993) op een toegenomen arbeidssatisfactie van docenten als gevolg van daadwerkelijke vakinhoudelijke samenwerking.

Ook uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur blijkt dat een geïntegreerd leerstofaanbod een positieve invloed heeft op de motivatie van leerlingen. Mede als gevolg hiervan nam ook de motivatie van docenten toe. Docenten werden bijvoorbeeld gemotiveerd voor geïntegreerd onderwijs vanwege de interdisciplinaire aard van bepaalde problemen. Zo is volgens Brunsting (1989) het (leren) maken van afwegingen en keuzen met betrekking tot milieu(problematiek) op basis van alleen argumenten vanuit de biologie weinig realistisch en dus onbevredigend. Om die reden is bijvoorbeeld het meeste NME-VO lesmateriaal tot stand gekomen doordat - in een door de overheid gesubsidieerd project - samenwerkende docenten leerstofonderdelen uit verschillende vakken integreerden. Deze vakinhoudelijke samenwerking was overigens juist een belangrijk motief van scholen om als proefschool aan het project NME-VO deel te nemen (§ 2.4.2). De genoemde integratie van leerstofonderdelen uit verschillende vakken vraagt extra organisatie en afspraken tussen de vaksecties. De uitvoeringspraktijk van het project NME-VO laat echter zien dat de extra inspanning inherent aan de gekozen vorm, namelijk het inbouwen van geïntegreerde leerstof in overigens zelfstandig gebleven vakken (§ 2.4.2 casus 4), zeker de bedoelde meerwaarde oplevert in de vorm van een hogere motivatie bij zowel de leerlingen als de samenwerkende docenten (Brunsting, 1989).

Volgens Van der Loo & Pieters (1989) laat de praktijk van de ontwikkelingsscholen zien dat het inhoudelijke nut van vakinhoudelijke samenwerking/integratie ('de synergetische werking') duidelijk wordt ervaren door docenten.

Van der Veen (1983a) beschrijft de ervaringen van de docenten aan het Twickel College in Hengelo met het BON-project (§ 2.4.2 casus 1). Deze docenten constateerden na invoering van het BON-project bij leerlingen een duidelijk toegenomen motivatie, met name voor onderwerpen uit de natuurkunde.

Volgens Genseberger (1989a) heeft onder meer de natuurhistorische benadering van de natuurwetenschappen in het project 'Natuurhistorische Oriëntatie' ertoe geleid dat de motivatie voor de natuurwetenschappen bij de leerlingen sterk is toegenomen. Met name meisjes blijken aangesproken te worden door de onderwerpen en de werkwijze, vooral door de wat filosofischer aspecten van de natuurwetenschappen. De toegenomen motivatie komt vooral tot uiting in het enthousiasme van de leerlingen en de hoge kwaliteit van het door hen geleverde werk. De motivatie lijkt in het bijzonder bevorderd te worden door 'het zichtbaar worden van de natuurwetenschappen als een menselijke en culturele activiteit' (§ 2.4.1 casus 3).

Integratie van leerstof kan gunstige effecten hebben op de begripsontwikkeling van

leerlingen

Uit de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) blijkt dat diverse auteurs een aantal gunstige effecten verwachten van een geïntegreerd leerstofaanbod, zoals het ontwikkelen van krachtige kennisstructuren en cognitieve bekwaamheden (Champagne & Cornbleth, 1991; vergelijk Unesco, 1990). Ook wordt verwacht dat - als gevolg van een samenhangend onderwijsaanbod in de basisvorming - leerlingen op een hoger cognitief niveau zullen gaan functioneren (Van Os, 1995).

Uit onderzoek is gebleken dat bij een vergelijking van de resultaten van leerlingen die een geïntegreerd curriculum hadden gevolgd met die van leerlingen die onderwijs hadden gekregen via een gescheiden vakkenaanbod, de leerlingen uit de eerstgenoemde groep een beter begrip hadden gekregen van de ongedeelde structuur en de geordendheid van de hen omringende natuur (Slesnick, 1963) en een grotere 'scientific literacy' hadden verkregen (Richardson & Showalter, 1967; Showalter, 1971). Als gevolg daarvan leverden zij even goede prestaties bij 'college science'-curricula als leerlingen die traditioneel onderwijs hadden genoten (Richardson & Showalter, 1967). Uit recent onderzoek bleek dat de resultaten van leerlingen die geïntegreerd onderwijs ontvingen vrijwel altijd de resultaten overtroffen van leerlingen die traditioneel onderwijs hadden gevolgd. Deze resultaten hadden betrekking op onder meer de prestaties van de leerlingen, hun beheersing van onderzoeksvaardigheden, hun creativiteit en hun bekwaamheid om informatie en processen in nieuwe situaties toe te passen (Yager, 1990; vergelijk Baez, 1976). Yager wijst er daarbij op dat de motivatie en de bekwaamheid van de docenten een cruciale rol spelen bij het bereiken van betere resultaten door de leerlingen.

Verder is een positief effect op de begripsontwikkeling van leerlingen geconstateerd, wanneer het geïntegreerde curriculum aansluit bij hun beleavings- en ervaringswereld (Schmitz & Hufmann, 1997).

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur zijn weinig gegevens aangetroffen over het effect van een geïntegreerd leerstofaanbod op de begripsontwikkeling bij leerlingen. Deze gegevens betreffen meestal verwachtingen en niet op onderzoek gebaseerde resultaten.

Van der Cingel & Kramer (1976) menen dat een geïntegreerd aanbod van de natuurwetenschappen de begripsontwikkeling van leerlingen zal bevorderen.

Genseberger (1989a) vestigt er de aandacht op dat de context van ontdekkingen in het verleden - de zogenaamde natuurhistorische benadering - vaak materiaal oplevert dat bruikbaar is om bij leerlingen betrokkenheid en begripsontwikkeling te bevorderen.

Genseberger (1989b) merkt tevens op dat de gevolgde werkwijze in het project 'Natuurhistorische oriëntatie' ertoe leidde dat leerlingen hun standpunten ten aanzien van maatschappelijke implicaties van behandelde onderwerpen beter konden beargumenteren, omdat de ontwikkelde denkwijze leidde tot betere voorstellingen van - onzichtbare - modellen (§ 2.4.1 casus 3).

Integratie kan een flexibele opstelling tegenover vakken en schoolroutine bewerkstelligen en de bereidheid tot deelname van docenten aan nascholing doen toenemen

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur vonden we met betrekking tot dit effect enige informatie. Enkele auteurs geven aan - op basis van ervaringen met het inbouwen van NME in bestaande programma's - dat het bestaan van een sfeer van vernieuwingsgezindheid op scholen een belangrijke voorwaarde is voor vakinhoudelijke samenwerking/integratie.

Volgens Daems & De Vries (1989) en Daems & Van der Zande (1989a,b) uit genoemde vernieuwingsgezindheid zich in onder meer een flexibele opstelling tegenover vakken en schoolroutine. Deze vernieuwingsgezindheid zal de bereidheid tot deelname aan nascholing vergroten, bijvoorbeeld ten aanzien van relevante werkvormen, integratie van (nieuwe) vakinhouden of vakkensamenwerking.

Uit de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) blijkt dat er slechts weinig *empirische* gegevens voorhanden zijn met betrekking tot effecten van integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken op leerlingen. Gunstige effecten van een geïntegreerd leerstofaanbod berusten veelal op verwachtingen (Champagne & Cornbleth, 1991). Ook het merendeel van de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur beschreven effecten is niet waargenomen via specifiek daarop gericht empirisch onderzoek. Wel menen we dat (mede) door de vaak jarenlange duur van een aantal projecten en de daarmee opgedane ervaringen de betrouwbaarheid van de beschreven waarnemingen in het algemeen tamelijk groot is.

Samenvattend concluderen we dat integratie positieve effecten heeft op leerlingen en docenten. De belangrijkste in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aangetroffen (verwachte) effecten stemmen overeen met - voor een deel op empirisch onderzoek berustende - gegevens uit de wetenschappelijke literatuur.

2.6.4 Integratie beïnvloedende factoren

In deze paragraaf geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: '*Welke integratie beïnvloedende factoren zijn beschreven?*' Het integreren van leerstofonderdelen eist veel van docenten. Zo moeten zij duidelijk gemotiveerd zijn en de bereidheid hebben om tijd en energie te steken in het intensieve proces van vakinhoudelijke samenwerking. Ook moeten ze overeenstemming bereiken over de mate van integratie, de samenwerkingsvorm, de didactische uitgangspunten, de criteria voor leerstofaanbod en over de centrale begrippen uit de deelnemende vakken.

De factoren die de mogelijkheden bepalen tot integratie van leerstof en de daarmee gepaard gaande vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten, zijn dan ook van zeer diverse aard. Deze factoren hebben we geordend in integratie bevorderende en belemmerende/remmende.

Integratie bevorderende factoren

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) is een aantal integratie bevorderende factoren aangetroffen, zoals beschikbaarheid van lesmateriaal, samenwerking van docenten, ondersteuning door de verzorgingsstructuur, en de invloed van onderwijsvernieuwingen.

Beschikbaarheid van adequaat, geïntegreerd lesmateriaal is een belangrijk middel om docenten te motiveren om geïntegreerd 'science'-onderwijs te geven (Chisman, 1990b).

Een werkelijk geïntegreerd curriculum berust op een overeenkomstige benadering van de betrokken vakken bij het onderwijs van de 'science'-concepten. Een dergelijke benadering kan worden gerealiseerd op basis van verschillende organisatieschema's c.q. ordeningsprincipes, zoals een onderzoeksmatige- of een procesmatige benadering (Rutherford & Gardner, 1971).

Daarnaast kan samenwerking tussen docenten hun motivatie bevorderen om geïntegreerde leerstof te gebruiken. Zo kunnen docenten gezamenlijk geïntegreerde leerstof aanbieden, in de vorm van 'team teaching'. Als gevolg hiervan motiveren docenten elkaar om voldoende aandacht te besteden aan het geïntegreerde karakter van de leerstof en niet te vervallen in het vertrouwde aanbieden van separate onderwerpen. Bovendien kunnen de docenten profiteren van elkaars vakkennis. Team teaching betekent dus ook een vorm van bijscholing (Spice, 1979; vergelijk Fensham & Harlow, 1974).

Ondersteuning door deskundigen is bij na- of bijscholing noodzakelijk (Penick, 1990). Door zorgvuldige analyse van geïntegreerde curricula kan worden nagegaan welke bekwaamheden van docenten worden verwacht om de geïntegreerde leerstof met succes te kunnen aanbieden (Rutherford, 1971). Deskundigen van pedagogische centra kunnen docenten assisteren bij het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal. Ook het deelnemen aan het ontwikkelen motiveert docenten om dergelijk lesmateriaal te gebruiken (Chisman, 1990b; vergelijk Baez, 1976). Het komt echter nogal eens voor dat docenten onvoldoende zijn gemotiveerd om volledig geïntegreerde leerstof aan te bieden. In dat geval is het aan te bevelen om te starten met leerstof met een geringere mate van integratie (Blum, 1973; Baez, 1976; Van.Os, 1994, 1995).

Met betrekking tot de Nederlandse situatie verwachten we ook dat beschikbaarheid van geïntegreerd lesmateriaal - bijvoorbeeld gepubliceerd in vaktijdschriften - integratie bevordert. Zo kunnen publicaties in vaktijdschriften van aansprekende praktijkvoorbeelden docenten in de natuurwetenschappen motiveren tot het gezamenlijk ontwikkelen van geïntegreerde leerstof. Goede voorbeelden daarvan vinden we bij Van Eijck (1994, 1995) en Van Eijck & Mijzen (1995a,b,c; 1996a,b,c). Het betreft een samenwerkingsproject van docenten biologie, natuur-/scheikunde en techniek in de basisvorming met een geïntegreerde aanpak van het thema 'beweging'. Ook bevatten vakbladen in toenemende mate publicaties die bruikbaar zijn voor integratie/vakinhoudelijke samenwerking in de nieuwe tweede fase (zie bijvoorbeeld Voogt & Fockens, 1996; Fockens & Voogt, 1997a,b).

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) wordt er op gewezen dat onderwijsvernieuwingen integratie kunnen bevorderen. Onderwijsvernieuwingen kunnen bijvoorbeeld een stimulerende werking hebben op integratie in het vervolgonderwijs. Zo wordt van invoering van een geïntegreerd 'science'-curriculum in de basisschool een integratie bevorderende invloed verwacht in de onderbouw van het voortgezet onderwijs (Chisman, 1990b). Ook een herstructurering van het universitair onderwijs - zoals een wijziging in het toelatingsbeleid - kan integratie in het voortgezet onderwijs bevorderen. Door bij natuurwetenschappelijke studies leerlingen toe te laten die geïntegreerd 'science'-onderwijs hebben gevolgd en vooral door een positieve opstelling ten opzichte van een geïntegreerd curriculum, bevorderden universiteiten integratie in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs (Spice, 1971).

Ook uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur blijkt dat van onderwijsvernieuwingen een gunstig effect op integratie wordt verwacht. Deze vernieuwingen betreffen het ontstaan van nieuwe vakken, de herstructurering van de tweede fase voortgezet onderwijs, en ontwikkelingen met betrekking tot de basisvorming.

Het ontstaan van nieuwe vakken leidt tot (mogelijkheden voor) integratie van leerstof. Al in 1948 streefden docenten bij de invoering van het vak natuurwetenschappen op de α -afdeling van het gymnasium naar coördinatie van de drie vakken onderling en ook van de natuurwetenschappen met andere vakken (Kreutzer, 1951; Van den Brandhof e.a., 1955a,b). De basisvorming - ingevoerd in 1993 - leidde tot het nieuwe vak 'verzorging', en tot integratie van de vakken natuur- en scheikunde. Bovendien kreeg men meer belangstelling voor (vakoverstijgende) vaardigheden en voor aspecten van 'gezondheid'. Invoering van nieuwe vakken is echter niet altijd een voldoende sterke stimulans voor het integreren van leerstof. Zo vormen natuur- en scheikunde in de basisvorming formeel één schoolvak. In de praktijk wordt dit vak - overigens niet een écht nieuw vak - echter veelal gegeven in de vorm van apart onderwijs in de vakken natuurkunde en scheikunde.

Tevens heeft de overheid bepaald dat het vak verzorging - dat veel raakpunten heeft met biologie - de eerste vier jaar na invoering een zelfstandig vak diende te blijven. In dit verband wijzen we erop dat de overheid - overigens als pedagogische maatregel - streeft naar het verminderen van het aantal docenten in de basisvorming. Dit zou op termijn een samenvoeging van biologie met verzorging en NME kunnen betekenen en wellicht ook met natuur- en scheikunde. Hierdoor zouden er geïntegreerde vakgebieden ontstaan die beter aansluiten bij de ervaringswereld van leerlingen.

De invoering van het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' kan integratie stimuleren. Dit vak omvat een geïntegreerd leerstofaanbod uit alle drie de natuurwetenschappelijke vakken, waarbij in het onderwijs wordt gestreefd naar aansluiting bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995b; vergelijk hoofdstuk 1, § 1.4). Het profiel 'Natuur en Gezondheid' - met de drie natuurwetenschappelijke vakken - biedt ook mogelijkheden voor integratie. In dit profiel wordt gestreefd naar samenhang tussen de vakken onder meer

door gemeenschappelijke vaardigheden en contextgebieden, waaronder het contextgebied 'gezondheid' (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a; vergelijk § 1.4).

In de Nederlandse wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) wordt er met betrekking tot ontwikkelingen in de basisvorming op gewezen dat het ontstaan in de school van zogenoemde professionele secties een gunstige ontwikkeling betekent voor (vakinhoudelijke) samenwerking en integratie. Het ontstaan van professionele secties - als functionele werkgroepen - bevordert namelijk de samenwerking tussen docenten binnen en buiten secties (Verhulst, 1994). Samenwerking bevordert een goede sfeer in de school, met als gevolg een positief effect op de motivatie van de leerlingen (Genseberger, 1997) en op de bereidheid van docenten om deel te nemen aan vernieuwingsprojecten (Guyton & McIntyre, 1990; Koetsier, 1991).

Een toenemende (vakinhoudelijke) samenwerking in de Nederlandse basisvorming zou samenwerking/integratie in de tweede fase kunnen bevorderen. In de basisvorming is samenwerking inderdaad toegenomen (Verschuren, 1997). Het is echter twijfelachtig of deze samenwerking van lange duur zal zijn, omdat docenten vooral zijn gericht op resultaten op korte termijn (Van Wessum, 1997; vergelijk Grossman & Stodolsky, 1995).

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur wordt eveneens aandacht besteed aan ontwikkelingen in de basisvorming die mogelijke een gunstig effect hebben op integratie. Zo vertoont een aantal kerndoelen van het vak 'verzorging' raakvlakken met die van het vak biologie. Daarnaast bieden de kerndoelen, die voor de verschillende vakken in de basisvorming zijn geformuleerd, veel aanknopingspunten voor natuur- en milieu-educatie (Timmermans, 1988, 1991; Steenbakkers, 1992; Van Beek, 1993a,b; Manschot, 1993). Dergelijke raakvlakken tussen kerndoelen kunnen de motivatie van docenten voor het integreren van leerstof bevorderen.

Diverse auteurs zien mogelijkheden voor integratie van leerstof bij ontwikkeling van vakken als natuuronderwijs en science (Oosterhuis, 1953; Dolné, 1975; Van Noordwijk-van Veen, 1975; Dassen, 1978; Frings, 1979; Van Dam, 1983; Van Dijk & Frings, 1983; De Kievit, 1988; Timmermans, 1990; Annega, 1992).

In de basisvorming wordt veel belang gehecht aan algemene - vakoverstijgende - vaardigheden. Deze vaardigheden kunnen effectiever worden aangebracht wanneer docenten op dit punt samenwerken (Annega, 1992). Deze accentuering in de basisvorming kan een bevorderende factor zijn voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de bovenbouw.

In de basisvorming wordt aan NME structureel aandacht besteed. Het gezamenlijk verzorgen van het onderwijs binnen diverse NME-projecten stimuleert wellicht docenten om zelf geïntegreerde leerstof te ontwikkelen, leidend tot een verdere vakinhoudelijke samenwerking (zie ook § 2.4.2 casus 4).

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) wordt aangegeven dat het aanbieden van de

leerstof in zinvolle contexten een mogelijkheid biedt om aan te sluiten bij de ervaringswereld van leerlingen (Roelofs, Franssen & Grootsholten, 1996; Boekaerts, 1982; vergelijk Holman, 1990; Reygel, 1997). De keuze voor vakgrensoverstijgende contextgebieden - waaronder het contextgebied 'gezondheid' - bij het ontwikkelen van de eindtermen voor de nieuwe Nederlandse eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken, sluit hierbij aan (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Verder biedt het aansluiten van geïntegreerd 'science'-onderwijs bij maatschappelijke problemen, mogelijkheden om integratie te bevorderen. Maatschappelijke problemen zijn verbonden met thema's als energie en (uitputting van) natuurlijke hulpbronnen. Omdat dergelijke thema's interdisciplinair van aard zijn, komt onderwijs in gescheiden vakken niet in aanmerking (Lewis, 1979; Silber, 1979).

Ook uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur blijkt het belang dat wordt gehecht aan contextgebonden onderwijs als middel om de aansluiting bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen te kunnen bevorderen.

Diverse auteurs menen dat integratie van (onderdelen van) vakken noodzakelijk is voor het effectief kunnen aansluiten bij de leef- en ervaringswereld van leerlingen. Bovendien hechten deze auteurs veel belang aan contextgebonden onderwijs, dat wil zeggen aan de toepasbaarheid van kennis in het dagelijks leven en aansluiting bij de maatschappelijke ontwikkelingen. Ook de Werkgroep Examenprogramma's Biologie (WEB) benadrukte het belang van contextgebieden, zoals 'gezondheid' en 'biotechnologie' (Dolné, 1975; Van der Veen, 1983a; Genseberger, 1989a; Mijzen, 1993; Wagenaar, 1993; Schouteten & Kiers, 1995). Contextgebonden onderwijs kan - mede gezien de multidisciplinaire aspecten - een bevorderende factor zijn voor integratie.

Integratie belemmerende/remmende factoren

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) wordt er op gewezen dat docenten door de omvang van hun taak te weinig tijd kunnen besteden aan onderwijsvernieuwingen (Chisman, 1990b). Ook onbekendheid met integratie en vrees voor een belangrijke taakverzwaring spelen een rol (Blum, 1973; Van Os, 1994, 1995).

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur wordt eveneens gewezen op het chronische tijdgebrek van docenten. De tijdsdruk waaronder docenten moeten werken, neemt nog steeds toe door onder andere de uitgebreidheid van de examenprogramma's en het stijgend aantal leerlingen dat extra zorg behoeft. De grote investering van tijd en energie van de docenten is echter voornamelijk het gevolg van maatschappelijke ontwikkelingen. Docenten moeten daardoor veel tijd besteden aan allerlei binnen- en buitenschoolse activiteiten die niet hun directe lestaak betreffen. Mede hierdoor is het begrijpelijk dat vakinhoudelijke samenwerking in de praktijk slechts sporadisch voorkomt. Vrees voor 'identiteitsverlies van het vak' is een andere integratie remmende factor. Deze factor speelde een rol bij de invoering van NME die in concrete gevallen niet

zonder problemen verliep. De inbedding van NME in het onderwijs was een omvangrijke, complexe en ingrijpende innovatie. De wens tot invoering van NME in hun vak- of leergebied was bij een aantal leraren wel aanwezig, maar evenzeer bestond er bij anderen de vrees dat het 'eigen karakter' van het vak zou worden aangetast. Hiermee samenhangend bestond het gevaar dat vakgrensoverschrijdende onderwerpen niet als een essentieel onderdeel van een vak zouden worden beschouwd, maar als 'een project dat ook nog aan de orde moet komen'. Bovengenoemde problemen vormden een rem op de implementatie van NME, en de daarmee gepaard gaande integratie van leerstof-onderdelen (Maas Geesteranus, 1990; Steenbakkers, 1992).

In de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) werden ook andere integratie remmende factoren aangetroffen, zoals het ontbreken van lesmateriaal, het gebrek aan opleidingsmogelijkheden, lacunes in pedagogisch-didactische en vakinhoudelijke kennis bij docenten, en een remmende invloed van de onderwijsinrichting.

Het ontbreken van lesmateriaal of een aanbod van lesmateriaal dat niet echt is geïntegreerd, remt integratie (Bollen, 1995; Van Os, 1995; Schwarze, 1997). Verder heeft het gebrek aan uniformiteit van beschikbare geïntegreerde leerstof een remmende invloed op integratie (Welch, 1977; Lambert, 1979). Ook sluit beschikbare geïntegreerde leerstof vaak te weinig aan bij problemen die gericht zijn op toekomstige ontwikkelingen, bijvoorbeeld met betrekking tot energie en milieu (Chisman, 1990b).

Een belangrijke integratie remmende factor betreft het gebrek aan opleidings- en nascholingsmogelijkheden van docenten (Penick, 1990; Chisman, 1990b; Boersma, De Kievit & Pilgrim, 1990). Een adequate opleiding dient het karakter te hebben van een geïntegreerde 'science'-docentenopleiding (Penick & Bonnstetter, 1990). Door een niet op integratie afgestemde opleiding en een gebrek aan nascholingsmogelijkheden hebben docenten veelal geen duidelijk beeld van integratie. Daarnaast speelt de affiniteit van veel docenten met gescheiden vakonderwijs - aansluitend bij hun monodisciplinaire opleiding - een belangrijke rol (Penick, 1990). We merken op dat in de Nederlandse situatie nascholingsmogelijkheden ruim voorhanden zijn, maar dat docenten - door tijdgebrek - hiervoor weinig belangstelling tonen.

In de wetenschappelijke literatuur zijn bij docenten tevens didactische tekortkomingen geconstateerd met betrekking tot het geïntegreerde 'science'-onderwijs. Zo zijn docenten er onvoldoende in geslaagd een begeleidende en faciliterende rol in het onderwijs te vervullen (Bonnstetter, 1990; Shulman, 1986; vergelijk Hashweh, 1987). Ook zijn zij niet gemotiveerd om onderwijs te geven dat buiten hun vakgebied valt (Rutherford, 1971). Wanneer zij hiertoe wel overgaan, neigen zij tot een veilige didactiek door interactie met en tussen leerlingen te vermijden (Carlsen, 1991; Hashweh, 1987; Hoz, Tomer & Tamir, 1990).

In verband met integratie is - naast didactische kennis - vakinhoudelijke kennis van essentieel belang. Deze kennis vertoont echter lacunes, onder meer op het gebied van kennis van en inzicht in begrippen en vertrouwdheid met samenhangen en met praktijkcontexten. Daarnaast zijn docenten veelal niet in staat om de leerstof op een begrijp-

pelijke wijze aan te bieden aan leken.

Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt verder dat de onderwijsinrichting een remmende invloed op integratie kan hebben. Zo wordt integratie in de onderbouw van het voortgezet onderwijs geremd door het onderwijs in gescheiden vakken in de bovenbouw (Thier, 1973). Daarnaast ondervindt integratie in de bovenbouw een sterk remmende invloed van het op gescheiden vakken gerichte eindexamen (Winter, 1970; Lambert, 1979). Ook de wijze van toetsen sluit niet aan bij een geïntegreerd curriculum (Chisman, 1990b).

In de Nederlandse (didactische) vakliteratuur zijn verschillende aspecten van de onderwijsinrichting gevonden die integratie hebben geremd en soms nog remmen. De 'inrichting van het onderwijs' betreft aspecten van de regelgeving van de overheid, zoals voorschriften ten aanzien van lessentabellen, vakkenpakketkeuze, examenprogramma's en dergelijke. In het navolgende gedeelte geven we een overzicht van deze remmende factoren. Dit overzicht heeft een grotendeels historisch karakter, omdat de onderwijsinrichting, gebaseerd op de mammoetwet vrijwel tot het verleden behoort. Wel wordt uit dit overzicht duidelijk dat de onderwijsinrichting er niet toe heeft bijgedragen dat er - met name in de bovenbouw van vwo en havo - een traditie van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten en integratie van leerstof is ontstaan.

Met betrekking tot de eindexamenprogramma's zijn er enkele ontwikkelingen geweest die gunstig waren voor het aanbieden van geïntegreerde leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken. Door de invoering van een centraal schriftelijk examen biologie kwam er een einde aan de vaak grote verschillen in de aard en moeilijkheidsgraad van de in de bovenbouw van verschillende scholen behandelde examenonderwerpen. Voor de invoering van de mammoetwet gaf het eindexamenprogramma biologie namelijk slechts een globale omschrijving van de vereiste kennis en van het niveau daarvan (Brouwer, 1963). De moeilijkheidsgraad van de biologische leerstof werd na invoering van het schriftelijk examen in het algemeen hoger en het aandeel van de chemie in het biologieprogramma nam toe. In de afgelopen jaren zijn ook voor de andere natuurwetenschappen nieuwe eindexamenprogramma's vastgesteld. Deze programma's bevatten nieuwe onderdelen als 'biofysica' en 'biochemie' en boden daardoor mogelijkheden voor het integreren van leerstof. Van deze mogelijkheden is echter nauwelijks gebruik gemaakt, gezien het zeer beperkte aantal beschrijvingen van voorbeelden van integratie dat we aantreffen in de (didactische) vakliteratuur. Afgewacht zal moeten worden of de toegenomen mogelijkheden voor integratie als gevolg van de herstructurering van de tweede fase voortgezet onderwijs benut zullen worden.

Inmiddels is het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' ingevoerd. Ook de invoering van de doorstroomprofielen - waaronder het profiel 'Natuur en Gezondheid' - is gestart. In de meeste scholen is het onderwijs alleen nog in de hoogste leerjaren van vwo en havo ingericht op basis van de mammoetwet. Bovendien vindt de centrale toetsing van de examenstof nog steeds plaats op basis van gescheiden vakken. Dit geldt zowel voor de examens die nog onder de mammoetwet vallen als voor het toekomstige

centrale examens voor de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. Zoals ook uit de wetenschappelijke literatuur naar voren kwam is deze situatie een ernstige integratie belemmerende factor.

Wat betreft de examenvakken waren de leerlingen vóór invoering van de mammoetwet in 1968 ingedeeld volgens het leerstofjaarklassensysteem en hadden alle leerlingen van de β -afdelingen van het voortgezet onderwijs biologie, natuurkunde en scheikunde als examenvakken. Deze situatie is op zich gunstig voor integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappen, met name ten aanzien van vakgrensoverschrijdende leerstofelementen. Ondanks de mogelijkheden voor integratie van leerstof in de periode vóór de invoering van de mammoetwet, zijn in de literatuur daarvan geen praktijkvoorbeelden gevonden. Eén van de oorzaken hiervoor was het sterk solistisch optreden van de docenten. In het algemeen was overleg tussen docenten binnen de sectie spaarzaam en met docenten van andere secties (hoogst) ongebruikelijk.

Na invoering van de mammoetwet werd de situatie ten aanzien van integratie van leerstof in principe nog gunstiger. Het aantal examenvakken verminderde en er kwamen meer lesuren beschikbaar voor de afzonderlijke vakken, waardoor het niveau van de leerstof duidelijk werd verhoogd. Mede hierdoor nam het aantal vakgrensoverschrijdende leerstofelementen toe. Deze laatste ontwikkeling bood mogelijkheden voor een geïntegreerd leerstofaanbod, ware het niet dat er enkele duidelijk remmende factoren zijn, zoals de vrije pakketkeuze en de wijze van roosteren in de tweede fase voortgezet onderwijs.

Als gevolg van de vrije pakketkeuze in het ongedeelde vwo werden de natuurwetenschappelijke vakken zogenaamde keuzevakken. We analyseerden voor het Comenius College te Hilversum de keuze van de naar 5-vwo bevorderde leerlingen voor de vakken natuurkunde, scheikunde en biologie in de periode 1980-1996. Bij de analyse zijn - om redenen van vergelijkbaarheid - de volgende leerlingen uit 5-vwo niet betrokken: doublanten, leerlingen afkomstig uit 4- of 5-havo of van andere scholen. In tabel 2.6 geven we de resultaten van de analyse weer in de vorm van gemiddelde waarden voor drie vijfjaarlijkse perioden en voor de jaren 1995 en 1996.

Uit tabel 2.6 blijkt - behalve de verschuiving in keuzen in de loop der jaren - dat in de cursus 1995-1996 circa 44% van de biologieleerlingen geen natuur- en/of scheikunde in het vakkenpakket heeft. Het aantal biologieleerlingen dat ook natuurkunde en scheikunde volgt is circa 30%.

Omdat ruim de helft van de biologieleerlingen nog tenminste één andere natuurwetenschap volgde, zouden er mogelijkheden zijn geweest voor het aanbieden van geïntegreerde leerstof wanneer dit niet sterk werd bemoeilijkt door het in de tweede fase bovenbouw gebruikelijke roostersysteem. In de hoogste leerjaren werden de roosters van de groepen van vakken namelijk in het algemeen samengesteld door clustering van de vakken aan de hand van de vakkenpakketkeuze van de individuele leerlingen. Dit betekende dat leerlingen met drie natuurwetenschappen in hun pakket willekeurig werden verdeeld over de diverse leerlingengroepen natuurkunde, scheikunde en biologie. Zo

konden bijvoorbeeld in één biologiegroep leerlingen zitten die naast biologie geen, of één, of twee andere natuurwetenschappen in hun vakkenpakket hebben. Door deze wijze van groepsindeling werd het aanbieden van geïntegreerde leerstof uit de natuurwetenschappen sterk bemoeilijkt.

Tabel 2.6: Overzicht van percentages leerlingen in 5-vwo die voor bepaalde natuurwetenschappen kozen in de periode 1980-1996 op het Comenius College te Hilversum.

Periode:	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1996
Gemiddeld aantal leerlingen in 5-vwo	89	81	72	74
Percentage leerlingen uit 5-vwo dat biologie koos	53%	41%	37%	39%
Van deze leerlingen koos				
Alleen biologie	12%	35%	34%	44%
Biologie en scheikunde	28%	26%	25%	25%
Biologie en natuurkunde	5%	3%	11%	1%
Biologie en scheikunde en natuurkunde	55%	36%	30%	30%
	100%	100%	100%	100%

In de beschreven praktijkvoorbeelden van integratie van leerstofonderdelen door samenwerkende docenten vonden we diverse integratie beïnvloedende factoren in de randvoorwaardelijke sfeer, zoals de inrichting van het onderwijs in de betrokken scholen (§ 2.4). We geven hieronder een kort overzicht van de omstandigheden waaronder de realisatie van integratie in deze praktijkvoorbeelden mogelijk bleek.

- Integratie kwam tot stand als 'activiteit onafhankelijk van het lesrooster', namelijk tijdens werkweken.
- Integratie vond plaats in het kader van vernieuwingsprojecten zoals een nieuwe opzet van het schoolonderzoek, deelname aan het SLO-project 'Natuuronderwijs voor 12-16 jarigen' en het invoeren van vooraf getoetst en aangepast lesmateriaal, ontwikkeld in het project NME-VO. Uit de laatste twee voorbeelden blijkt dat het initiatief voor belangrijke vernieuwingen veelal wordt genomen op planniveau (zie § 1.5). Uit deze voorbeelden blijkt dat deskundigen van het planniveau geïntegreerde leerstof ontwikkelden die vervolgens werd aangeboden aan het onderwijsveld. Docenten konden deze leerstof - eventueel na enige aanpassing - aanbieden aan hun leerlingen, waarbij zij de tijdrovende ontwikkelfase van dergelijke leerstof konden overslaan.
- Integratie kon mede worden gerealiseerd door de inrichting van de school, zoals een havo-afdeling met een zesjarige cursus waardoor in het vierde leerjaar - met een algemeen vormend leerstofaanbod - een samenwerkingsproject kon worden opgezet, en een inrichting van de onderbouw in de vorm van een middenschool.
- Integratie werd bevorderd door aanwezige tradities in de school, zoals het voorkomen van geïntegreerde leergebieden als 'Oriëntatie op de natuur', een identieke didactische benadering bij de drie natuurwetenschappelijke vakken en een geïntegreerd aan-

bod van natuur-en scheikunde gedurende de eerste drie leerjaren.

We merken op dat de in deze paragraaf beschreven integratie beïnvloedende factoren uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur voor het merendeel niet ter sprake komen in de praktijkvoorbeelden. Deze factoren liggen voornamelijk in de randvoorwaardelijke sfeer en betreffen niet de individuele docenten. In de beschreven casussen wordt er wel op gewezen dat het gezamenlijk ontwikkelen c.q. aanbieden van geïntegreerde leerstof veel vergt van de docenten wat betreft tijd, energie en incasseringsvermogen. Tevens wordt gewezen op de vereiste bereidheid van de docenten om overeenstemming te bereiken over onderwijsdoelen, zich te verdiepen in onderdelen van andere vakken en zich te verdiepen in de visie van waaruit in de verschillende vakken wordt lesgegeven.

De inrichting van het onderwijs in de scholen uit de praktijkvoorbeelden waarin de integratie van leerstof plaatsvond, wijkt duidelijk in gunstige zin af van die in de 'doorsnee' scholen voor voortgezet onderwijs. Mede hierdoor konden de vakinhoudelijke samenwerking tussen de docenten en de gekozen vorm van integratie van leerstof dan ook worden gerealiseerd. De gegevens uit de beschreven praktijkvoorbeelden zijn dus - nog afgezien van het geringe aantal - niet zonder meer te veralgemeniseren.

Samenvattend concluderen we dat onder meer onderwijsvernieuwingen integratie kunnen bevorderen. In de Nederlandse vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs biedt het profiel 'Natuur en Gezondheid' mogelijkheden voor integratie van leerstofeenheden uit de natuurwetenschappelijke vakken en voor contextgebonden onderwijs. Belangrijke integratie remmende factoren zijn overbelasting en tijdgebrek van docenten en het op gescheiden vakken gerichte eindexamen. Een andere integratie remmende factor is het gebrek aan geïntegreerd lesmateriaal. Wanneer docenten worden betrokken bij het ontwikkelen van geïntegreerd materiaal dan zijn zij eerder bereid om dergelijk materiaal te gebruiken.

2.6.5 Motieven pro en contra integratie

In deze paragraaf geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: *'Welke motieven pro en contra integratie zijn beschreven?'* Bij de bespreking van de voorgaande deelvragen is al een aantal motieven voor het bevorderen van integratie aan de orde gekomen, namelijk het beter aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen, een toegenomen motivatie en een gunstig effect op de begripsontwikkeling van leerlingen, de beschikbaarheid van geïntegreerd lesmateriaal, het laten aansluiten van het onderwijs bij maatschappelijke problemen met een interdisciplinair karakter, en door de overheid geïnitieerde onderwijsvernieuwingen met betrekking tot het Nederlandse voortgezet onderwijs.

Overige in de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) aangetroffen motieven voor het bevorderen van integratie van de natuurwetenschappen zijn een betere voorbereiding van

de leerlingen op verdere studie en beroep en het aan de leerlingen verschaffen van het inzicht dat de natuurwetenschappen een fundamentele eenheid vormen.

Uit deze literatuur blijkt het belang van de maatschappelijke relevantie van de aangeboden leerstof. Leerlingen worden - als toekomstige beroepsbeoefenaars - door het volgen van geïntegreerd 'science'-onderwijs beter voorbereid op het praktische leven. Tevens wordt er een beter fundament gelegd voor de studie in de afzonderlijke natuurwetenschappen (Rutherford & Gardner, 1971; vergelijk Matyas 1973). Geïntegreerd 'science'-onderwijs bereid leerlingen beter voor op onze complexe samenleving, omdat dergelijk onderwijs hen in staat stelt om een natuurwetenschappelijk wereldbeeld en een conceptuele structuur van de natuurwetenschappen te ontwikkelen en gebruik te maken van natuurwetenschappelijke processen (Jacobson, 1971; Baez, 1976; Rutherford, 1971).

Het aan de leerlingen verschaffen van het inzicht dat de natuurwetenschappen een fundamentele eenheid vormen, is een kernbegrip voor hen die het concept van integratie onderschrijven. Integratie betekent het wegnemen van grenzen tussen traditionele vakken (Cohen, 1977b). Het belangrijkste middel om een dergelijke visie bij leerlingen te bewerkstelligen, vormen de natuurlijke aspecten van de omgeving, gezien het ongedeelde karakter ervan (D'Ambrosio, 1979). Een ongedeelde aanbod van de natuurwetenschappen ligt dan ook voor de hand (Baez, 1976). Een geïntegreerd leerstofaanbod bevordert de samenhang van wetenschappelijke kennis. Bovendien krijgen leerlingen begrip voor de rol en de functie van 'science' in hun dagelijks leven (vergelijk Rutherford & Gardner, 1971; d'Arbon, 1972; Cohen, 1977b).

De in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur aangetroffen motieven van docenten om gezamenlijk leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken te integreren, waren van verschillende aard. In de beschreven praktijkvoorbeelden uit de bovenbouw vonden we hierover de volgende gegevens.

Een aanleiding van organisatorische aard voor docenten om samen geïntegreerde leerstof te ontwikkelen, was de onoverzichtelijke situatie bij het schoolonderzoek in het algemeen en bij biologie in het bijzonder. Een inhoudelijk motief was dat docenten integratie van leerstofonderdelen uit biologie en scheikunde zinvol vonden, omdat de oorzaak van biologische verschijnselen vaak is terug te voeren op chemische processen en factoren. Motieven van didactische-pedagogische aard waren dat docenten wilden aansluiten bij de denk- en leefwereld van de leerlingen, leerlingen kennis wilden laten maken met een aantal moderne wetenschappelijke concepten die een rol spelen in de hedendaagse maatschappij en hen - middels een historische context - wilden laten ervaren dat wetenschap mensenwerk is.

In de beschreven praktijkvoorbeelden uit de onderbouw troffen we bij docenten de volgende motieven aan voor integratie/vakinhoudelijke samenwerking. Motieven van didactische aard waren dat docenten van de natuurwetenschappelijke vakken wilden samenwerken omdat hun didactische benadering identiek was. Bij alle drie de vakken hield men zich namelijk bezig met probleemoplossend leren. Voorts wilden docenten

de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze bij de leerlingen introduceren en beter aansluiten bij hun belevings- en ervaringswereld. Zij vonden integratie van leerstofonderdelen een goed middel om deze doelen te bereiken.

Verder wilden docenten meer aandacht besteden aan de maatschappelijke relevantie van de aangeboden leerstof, waarbij het accent werd gelegd op onder meer meningsvorming over kernenergie en gezond leven. Een pedagogisch motief was dat docenten sociaal leren en mondigheidsbevordering wilden stimuleren, aandacht wilden besteden aan attitudevorming en aan de daarvoor onmisbare kenniselementen en vaardigheden. Een ideëel motief treffen we aan bij docenten die milieu-educatie niet incidenteel maar structureel aan de orde wilden stellen binnen het natuuronderwijs en nieuwe aandachtsgebieden wilden integreren in bestaande programma's.

Ten slotte wilden docenten natuur- en milieu-educatie invoeren op hun school en samenwerken met collega's. Dit is een motief van innovatieve aard.

Uit de praktijkvoorbeelden blijkt dat de motieven van docenten voor integratie sterk situatiegebonden waren. We hebben de indruk dat in het algemeen factoren in de randvoorwaardelijke sfeer een grotere rol speelden dan de intrinsieke motivatie van de docenten.

Bij de besprekingen van de voorgaande deelvragen kwamen ook motieven voor het geheel of ten dele afwijzen van integratie ter sprake, zoals het ontbreken van in de praktijk getoetst geïntegreerd lesmateriaal, een onderwijsinrichting in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs die een remmende invloed heeft op integratie, een eindexamensysteem dat is afgestemd op gescheiden disciplines, een wijze van toetsen die niet aansluit bij geïntegreerde curricula, en het te weinig aansluiten van de inhoud van geïntegreerde curricula bij toekomstige ontwikkelingen. Daarnaast zijn er factoren die een motief vormen voor docenten zelf om integratie af te wijzen, zoals overbelasting van docenten en een sterke affiniteit met gescheiden vakonderwijs. Ook zijn docenten veelal niet gemotiveerd om hun didactische aanpak te wijzigen en om onderwijs te geven dat buiten hun vakgebied ligt. Tot slot noemen we de te beperkte opleidingsmogelijkheden, en lacunes in vakinhoudelijke- en pedagogisch-didactische kennis.

Daarnaast zijn er in de wetenschappelijke literatuur (§ 2.3) nog andere motieven aangetroffen die docenten ervan kunnen weerhouden om geïntegreerde leerstof aan te bieden, zoals de overtuiging dat het onderwijs in de natuurwetenschappen het meest is gediend met een gescheiden vakkenaanbod, en het niet zinvol achten van integratie in de hoogste leerjaren van het voortgezet onderwijs.

Een belangrijke stroming streeft het behoud van gescheiden natuurwetenschappelijke vakken na. Vertegenwoordigers van deze stroming baseren hun visie op het in hun ogen unieke karakter van zowel de inhoud als van de onderzoeksbenaderingen van de onderscheiden disciplines. Zij menen dat het gescheiden bestuderen van chemie, fysica, biologie en aardwetenschappen als wetenschappelijke disciplines noodzakelijk is

om de inhoud en de methodologie van elk te begrijpen (Cohen, 1977b).

Integratie in de hoogste leerjaren van het voortgezet onderwijs wordt door een aantal auteurs als niet gewenst en ook niet haalbaar geacht. Motieven voor deze opvatting zijn dat specialisatie voor leerlingen essentieel is ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk onderzoek (Jacobson, 1971; Goodlad, 1974) en dat op eindexamenniveau een grondige bestudering van specifieke problemen is te verkiezen boven integratie (Baez, 1976). Een geïntegreerd curriculum kan wel geschikt zijn voor leerlingen die de natuurwetenschappen niet als examenvak te kiezen (Chisman, 1990b). Voor het geïntegreerd aanbieden van *leerstofonderdelen* uit de natuurwetenschappelijke vakken bij daarvoor geschikte onderwerpen zijn er wel goede mogelijkheden (Kuhn, 1997).

Samenvattend concluderen we dat er krachtige motieven zijn voor integratie van (leerstof uit) de natuurwetenschappelijke vakken. Enkele motieven van de docenten uit de beschreven Nederlandse praktijkvoorbeelden vinden we ook terug in de wetenschappelijke literatuur. Een aantal motieven uit deze literatuur sluit aan bij doelstellingen van de vernieuwde tweede fase van het Nederlandse voortgezet onderwijs. In de tweede fase wordt namelijk gestreefd naar meer samenhang in het onderwijs, aansluiten bij de belevings- en ervaringswereld van de leerlingen en de maatschappelijke relevantie van het onderwijs. Ook in de Nederlandse situatie lijken overbelasting, het ontbreken van geïntegreerd lesmateriaal en met name de inrichting van de eindexamens belangrijke motieven voor docenten om het onderwijs in de natuurwetenschappelijke vakken niet in geïntegreerde vorm aan te bieden. Ons inziens is integratie van de natuurwetenschappelijke vakken over de volle breedte in de bovenbouw van het Nederlandse voortgezet onderwijs dan ook niet haalbaar. We zijn echter van mening dat er wel mogelijkheden zijn voor het integreren van onderdelen uit de leerstof van deze vakken.

2.7 Balans van de literatuurstudie

Wanneer we de resultaten van de beantwoording van de deelvragen van onderzoeksvraag A overzien, dan kunnen we concluderen dat het literatuuronderzoek een aantal belangrijke gegevens heeft opgeleverd. Zo heeft een geïntegreerd leerstofaanbod gunstige effecten op leerlingen en docenten, zoals een betere aansluiting bij de belevings- en ervaringswereld van de leerlingen, een toegenomen motivatie van leerlingen en docenten en een positieve invloed op de begripsontwikkeling van leerlingen. Verder kunnen onder meer onderwijsvernieuwingen ertoe bijdragen dat integratie wordt bevorderd.

Onderwijsvernieuwingen in het Nederlandse voortgezet onderwijs betreffen de basisvorming, het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en de doorstroomprofielen, met onder andere het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Een toenemende integratie in de basisvorming kan tot gevolg hebben dat er een traditie van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten en integratie van leerstof wordt gevormd, waardoor docenten

wellicht gemakkelijker overgaan tot integratie in de bovenbouw. Eenzelfde ontwikkeling is denkbaar als gevolg van de invoering van het geïntegreerde vak 'Algemene Natuurwetenschappen' met betrekking tot het profiel 'Natuur en Gezondheid'.

In de vernieuwde tweede fase vwo en havo zijn er duidelijk meer mogelijkheden voor integratie dan het geval was onder de mammoetwet. Bovendien sluiten de in de literatuur genoemde motieven voor integratie goed aan bij de doelstellingen van de geherstructureerde tweede fase.

Uit de literatuurstudie blijkt dat de beschikbaarheid van geïntegreerd lesmateriaal een positief effect heeft op integratie. Uit de Nederlandse didactische vakliteratuur komt echter onvoldoende naar voren welke mogelijkheden er zijn voor het ontwikkelen c.q. aanbieden van geïntegreerde leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken binnen het profiel 'Natuur en Gezondheid'. De gegevens uit de Nederlandse praktijkvoorbeelden hebben betrekking op integratie die onder bepaalde omstandigheden bij bepaalde scholen kon worden gerealiseerd, waardoor het generaliseren naar 'doorsnee' scholen niet toelaatbaar is. Dit geldt met name voor de vraag welke mogelijkheden er zijn voor integratie in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs (§ 1.5). We merken op dat in de beschreven praktijkvoorbeelden nergens het proces van samenwerking tussen docenten bij het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof ter sprake komt. Wel blijkt dat het aanbieden van geïntegreerde leerstof - zoals ontwikkeld in het kader van het SLO-project 'Natuuronderwijs voor 12-16 jarigen' en het project 'NME-VO' - leidde tot samenwerking. Voorts is uit de casussen bijvoorbeeld niet duidelijk geworden welke onderwerpen c.q. thema's zich bij uitstek lenen voor het integreren van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken. In de desbetreffende scholen was het kennelijk mogelijk dat samenwerkende docenten geïntegreerde leerstof ontwikkelden. Gezien de onderwijsinrichting van deze scholen, kunnen we niet concluderen dat docenten in 'doorsnee' scholen in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs zelf de mogelijkheden hebben om dergelijke leerstof te ontwikkelen.

We troffen in de literatuur geen gegevens aan over integratie in de bovenbouw van 'doorsnee' Nederlandse scholen. We vermoedden dat er in de praktijk in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs meer vormen en gevallen van vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof voorkomen dan er in de literatuur zijn beschreven. We wilden hierover dan ook navraag doen bij deskundigen.

Uit de literatuurstudie blijkt dat een geïntegreerd leerstofaanbod wenselijk is. We wilden daarom nagaan of Nederlandse deskundigen deze wenselijkheid onderschrijven. Ook wilden we hun mening weten over de mogelijkheden voor integratie van leerstof onderdelen in de nieuwe tweede fase van 'gewone' scholen, die in 1998 of 1999 zou worden ingevoerd. Tevens wilden we de haalbaarheid verkennen van andere vormen van integratie dan volledige integratie, vooral omdat de laatste naar onze mening niet haalbaar is over de volle breedte.

3. Meningen van deskundigen over integratie van leerstof

3.1 Inleiding

Voor het raadplegen van deskundigen over integratie van leerstof en - de daarmee samenhangende - vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen, werd de Delphi-methode gekozen. De Delphi-methode - een iteratieve en interactieve consultatie van deskundigen - behoort tot de familie van onderzoekstechnieken die bekend staat als 'interactive survey' (onderzoek als publiekelijke dialoog) en kent vele toepassingen.

Een overzichtelijke beschrijving van de Delphi-methode vinden we bij Van Houten & Van der Zee (1980) en Bastiaensen & Robbroekx (1994). Een overzicht van vrijwel alle aspecten van deze methode is te vinden bij Linstone & Turoff (1975).

In dit hoofdstuk beschrijven we de opzet en de resultaten van het Delphi-onderzoek. Daarmee beantwoorden we onderzoeksvraag B: *'Welke mening hebben deskundigen over integratie van leerstof in de huidige en toekomstige praktijk?'* Deze vraag heeft betrekking op integratie van leerstof en - waar van toepassing - op vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de tweede fase van het voortgezet onderwijs. We duiden in het vervolg van dit hoofdstuk de hiervoor genoemde begrippen integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen kortheidshalve aan met 'integratie/samenwerking'.

Ten behoeve van de gegevensverzameling in het Delphi-onderzoek stelden we de volgende deelvragen op bij onderzoeksvraag B. Deze vragen zijn analoog aan de deelonderzoeksvragen van de literatuurstudie geformuleerd.

- *Welke mening hebben deskundigen over verschillende vormen van integratie/samenwerking?*
- *Welke onderwerpen vinden deskundigen geschikt voor integratie/samenwerking?*
- *Welke mening hebben deskundigen over effecten van integratie/samenwerking?*
- *Welke mening hebben deskundigen over integratie/samenwerking beïnvloedende factoren?*

In § 3.2 beschrijven we de opzet van het Delphi-onderzoek. Er zijn twee vraagronden gehouden. De resultaten van vraagronde-1 en -2 vermelden we in § 3.3 en § 3.5 (vergeleijk Beeftink, Koetsier & Voogt, 1994, 1995). De resultaten van vraagronde-1 worden besproken in § 3.4. In § 3.6. geven we een samenvatting van het voorgaande en blikken we kort terug op de uitvoering van het Delphi-onderzoek. In § 3.7 gaan we na welke aanwijzingen de resultaten van het Delphi-onderzoek opleveren voor de hulp die het

onderwijsveld kan worden geboden.

3.2 Opzet van het Delphi-onderzoek

In deze paragraaf beschrijven we de methodische aspecten van de opzet en uitvoering van het Delphi-onderzoek.

Voor ons onderzoek maakten we gebruik van vragenlijsten: de conventionele Delphi-methode. Deze methode maakt het mogelijk een relatief groot aantal deskundigen onafhankelijk van elkaar te bevragen. Hierdoor kan de anonimiteit worden gewaarborgd en is bijgevolg de sociale druk - bij het met elkaar confronteren van tegengestelde uitspraken - van de deelnemers op elkaar minimaal (vergelijk Koetsier & Ten Brinke, 1985; Eijkelhof, 1990). Bij een tweede hoofdvorm van de Delphi-methode, de zogenoemde 'real time methode' is er sprake van een conferentievorm waarbij de deelnemers rechtstreeks met elkaar in contact worden gebracht en de uiteindelijke oordeelsvorming in onderlinge discussie tot stand komt. Bij de 'real time' methode is bijgevolg geen sprake van anonimiteit, waardoor bij sterk uiteenlopende opvattingen van geraadpleegde deskundigen sociale druk een negatief effect kan hebben op de uiteindelijke oordeelsvorming (vergelijk Bastiaensen & Robbroeckx, 1994). Bovendien vergt een dergelijke werkwijze een relatief grote tijdsinvestering van de deelnemers. De beslissingen ten aanzien van de opzet van dit Delphi-onderzoek werden genomen in overlegssessies van de onderzoeker en twee senioronderzoekers (in het vervolg aangeduid met 'het trio-overleg'). De laatste twee personen fungeerden gedurende het promotieonderzoek tevens als tegenlezers. Een tegenlezer is kort gezegd een controlerende, deskundige lezer (vergelijk Ten Brinke, 1984; Van IJendoorn & Miedema, 1986; Koetsier, 1991).

Wat betreft de gemaakte keuzen ten aanzien van de opzet en uitvoering van dit onderzoek baseren we ons op Van Houten & Van der Zee (1980); Koetsier & Ten Brinke (1985), Koetsier (1991), Bastiaensen & Robbroeckx (1994) en de literatuurverwijzingen daarin.

Keuzen ten aanzien van de Delphi-werkwijze

Samenstelling van het panel

Ten aanzien van eisen gesteld aan de ingeschakelde informanten geldt: niet zozeer het aantal deelnemers telt, alswel de garantie dat uiteenlopende meningen, wensen, verwachtingen, belangen of probleemdefinities aan bod komen. Met andere woorden de keuze van informanten moet het verkrijgen van een ruim oriëntatiekader garanderen. Teneinde een Delphi-studie van begin tot eind zo doorzichtig mogelijk te maken voor de ingeschakelde informanten, dient de onderzoeker diverse maatregelen te treffen ten aanzien van de vormgeving van zijn werkwijze, namelijk een duidelijke fasering van

het onderzoek en het opnemen van een aantal belangrijke beslismomenten.

Identificatie en selectie van gekwalificeerde informanten is een belangrijke voorwaarde voor succes. Men kan gebruik maken van een vast panel, een steeds groeiend panel of een roulerend panel, dat wil zeggen een groep deskundigen waarvan een deel in iedere volgende ronde wordt vervangen.

Er zijn verschillende methoden om een panel te vormen (vergelijk Van Houten & Van der Zee, 1980). We hanteerden het principe van zelfselectie, wat inhoudt dat aangeschreven informanten zelf kunnen bepalen of zij zich voldoende deskundig achten. We hebben daarom de informanten vooraf niet benaderd met de vraag of zij aan het onderzoek wilden deelnemen.

We kozen voor een panel van informanten afkomstig uit verschillende sectoren van het onderwijsveld. Een zo samengesteld panel kan - gezien de voor selectie gehanteerde criteria - een breed spectrum van gegevens genereren ten aanzien van vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof. Bij de selectie van informanten (tabel 3.1) werden de volgende criteria gebruikt:

- betrokkenheid bij en deskundigheid op het gebied van de natuurwetenschappen;
- onderwijservaring in de bovenbouw van havo en/of vwo in één van de schoolvakken biologie, natuurkunde of scheikunde;
- betrokkenheid bij de toekomstige ontwikkelingen in de tweede fase van het voortgezet onderwijs, bijvoorbeeld beleid, ontwikkeling en besluitvorming rond en implementatie van de nota 'Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs' (Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen, 1991) of de ontwikkeling van de eindexamenprogramma's;
- deskundigheid op het terrein van de vakdidactiek van de natuurwetenschappen;
- kennis van de organisatie van en de ontwikkelingen in het voortgezet onderwijs.

Bij de selectie van individuele informanten werden van kleine groepen alle leden benaderd. Bij omvangrijke groepen was het criterium onderwijservaring in de bovenbouw van havo/vwo doorslaggevend. De gekozen groepen van deskundigen met de gebruikte afkortingen staan vermeld in tabel 3.1.

Tabel 3.1: Groepen van deskundigen geraadpleegd in het Delphi-onderzoek.

- Inspecteurs voortgezet onderwijs met een natuurwetenschappelijke achtergrond, die tevens docent in één van de natuurwetenschappen zijn geweest (INS).
- Vakdidactici biologie, natuurkunde en scheikunde, verbonden aan een universiteit (VAK).
- Medewerkers van het Katholiek Pedagogisch Studiecentrum, deskundig op het gebied van het biologie-onderwijs (KPC).
- Medewerkers van het Instituut voor Leerplanontwikkeling, deskundig op het gebied van leerplannen en examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken (SLO).
- Leden van de redactie van het vaktijdschrift van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen (NVO).
- Medewerkers van het Centraal Instituut voor Toetsontwikkeling, deskundig op het gebied van toetsontwikkeling met betrekking tot de natuurwetenschappen (CIT).
- Medewerkers van het Nederlands Instituut voor Biologie (NIB).
- Leden van de onderwijscommissie van de Algemene Vereniging voor Schoolleiders, die zich bezig

houden met de ontwikkelingen van het onderwijs in de tweede fase van het voortgezet onderwijs (AVS).

- Leden van de Stuurgroep Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (STG).

Vraagtechniek

Bij de Delphi-werkwijze komen allerlei vraagtechnieken in aanmerking, zoals essay-vragen, meerkeuzevragen, stellingen met sterkteschalen, rangordenen of het werken met aanvulzinnen. Van belang hierbij is hoe acceptabel de techniek is voor de informanten en hoe de onderzoeker de verkregen gegevens wil verwerken.

We kozen voor vragenlijsten die bestonden uit zowel open vragen als vragen in de vorm van stellingen. De respondenten konden hun waardering voor de inhoud van de stellingen aangeven op een vijfpuntsschaal. Tevens gaven we hen de gelegenheid bij elke vraag een toelichting te geven en/of opmerkingen te maken.

Verwerken en rapporteren van informatie

Een essentieel onderdeel bij een Delphi-onderzoek is het tussentijds rapporteren van verkregen resultaten. Daarbij dient gezocht te worden naar een voor elke deelnemer zo inzichtelijk mogelijke presentatie. De resultaten van de vraagronden werden in verslagvorm aan de respondenten toegezonden.

Aantal vraagronden

Ten aanzien van het aantal vraagronden besloten we naar bevind van zaken te handelen, waarbij we als stopregel hanteerden de mate van het beschikbaar komen van nieuwe informatie.

Uitvoering van vraagronde-1

Op basis van de deelvragen van onderzoeksvraag B ontwikkelden we een vragenlijst met een aantal open vragen en een aantal vragen geformuleerd in de vorm van stellingen (zie voor een overzicht van de vragen bijlage 2 of gele inlegvel). Deze vragenlijst legden we - vergezeld van een begeleidende brief - voor aan de informanten (zie 'Samenstelling van het panel' hierboven).

In de eerste vraagronde van het Delphi-onderzoek stelden we integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking in het algemeen aan de orde. We vroegen deskundigen - onder meer - naar het voorkomen van integratie/samenwerking en welke vormen van integratie/samenwerking zij haalbaar c.q. wenselijk achten.

Het verslag van de verkregen respons was als volgt ingedeeld: Na een inleiding met onder meer de onderzoeksvragen ten behoeve van het Delphi-onderzoek, volgden de kwantitatieve resultaten in de vorm van tabellen en grafieken, met een analyse daarvan.

Bij deze analyse is onderscheid gemaakt tussen de scores van alle respondenten, de scores van de afzonderlijke respondentengroepen en de scores van respondenten met dezelfde vakachtergrond. Daarna volgde een samenvatting van de kwalitatieve resultaten. In een bijlage bij het verslag presenteerden we de complete respons per vraag (Beeftink, Koetsier & Voogt, 1994). Een voorbeeld hiervan geven we in bijlage 4.

We merken op dat de onderzoeker bij de rapportage van de resultaten van een Delphi-studie aan deskundigen een sterk sturende functie heeft, waardoor subjectiviteit een rol kan gaan spelen (vergelijk Bastiaensen & Robbroekx, 1994). Teneinde deze subjectiviteit te minimaliseren, waren bij de opzet en de uitwerking van het Delphi-onderzoek steeds zogenoemde tegenlezers als kritische participanten betrokken. Uit de resultaten van het algemene deel van vraagronde-2 (§ 3.5.1) bleek dat de respondenten zich in het algemeen herkenden in de samenvattingen van de resultaten van de eerste vraagronde.

3.3 Resultaten van vraagronde-1

3.3.1 Kwantitatieve resultaten

Na de bespreking van de mate van respons volgt een overzicht en analyse van de scores van de respondenten.

Respons

Ten behoeve van vraagronde-1 van het Delphi-onderzoek zijn 52 deskundigen aangeschreven met het verzoek een vragenlijst (bijlage 2) in te vullen. Deze informanten zijn op basis van hun functie verdeeld in negen categorieën. Voor deze categorieën en de in onderstaande tabellen gebruikte afkortingen verwijzen we naar tabel 3.1.

In tabel 3.2 geven we een overzicht van zowel de totale respons als de respons per respondentengroep in vraagronde-1. Uit deze tabel blijkt dat 65% van de aangeschrevenen meewerkte. Deze respons ligt in dezelfde orde van grootte als bij de eerste vraagronde in een qua opzet vergelijkbaar Delphi-onderzoek van Koetsier (1991): namelijk ruim 60% van 73 verzonden vragenlijsten.

Informanten die aan het onderzoek geen medewerking konden verlenen, is verzocht de vragenlijst terug te zenden en de redenen voor het afzien van deelname op te geven.

Ongeveer vier weken na verzending van de vragenlijsten heeft de onderzoeker de informanten die nog niet hadden gereageerd telefonisch benaderd met het verzoek dit alsnog te doen. Een deel van hen heeft daarna nog een ingevulde vragenlijst geretourneerd. De aangeschrevenen die niet meewerkten, gaven daarvoor diverse redenen. In meer dan de helft van de gevallen betrof dit tijdgebrek, terwijl vijf personen zich op dit

terrein niet deskundig genoeg achtten. Slechts één van de respondenten vond het onderzoek minder zinvol en verleende om die reden geen medewerking.

Tabel 3.2: Overzicht van de respons in vraagronde-1. VVL: aantal verzonden vragenlijsten; IVL: aantal terugontvangen ingevulde vragenlijsten; AFZ: aantal afzeggingen.

Respondentengroepen	VVL	IVL	AFZ
INS	7	4	3
VAK	18	12	6
NVO	7	2	5
KPC	2	1	1
SLO	6	6	0
CIT	4	3	1
NIB	1	1	0
AVS	5	3	2
STG	2	2	0
Totaal	52 (100%)	34 (65%)	18 (35%)

In tabel 3.3 geven we de respons van de aangeschrevenen gegroepeerd naar vakachtergrond. Deze vakachtergrond speelt tevens een rol bij de analyse van de door respondenten gekozen schaalwaarden.

Tabel 3.3: Overzicht van de respons. De respondenten zijn geordend naar vakachtergrond. VVL: aantal verzonden vragenlijsten; IVL: aantal terugontvangen ingevulde vragenlijsten; AFZ: aantal afzeggingen.

Respondentengroepen	VVL	IVL	AFZ
Biologie	22	16 (73%)	6
Natuurkunde	10	6 (60%)	4
Scheikunde	16	10 (63%)	6
Overig	4	2 (50%)	2
Totaal	52 100%	34 65%	18 35%

Overzicht en analyse van scores

We geven nu een overzicht van de scores van respondenten op veertien stellingen; de resultaten van de overige - open - vragen zijn samengevat in § 3.3.2: kwalitatieve resultaten. We merken op dat niet alle respondenten elke vraag hebben beantwoord. Vooral bij toch al kleine respondentengroepen kan het ontbreken van scores van respondenten extra gewicht in de schaal leggen ten aanzien van de uitkomsten van de gemiddelde scores.

Frequenties van de scores

In tabel 3.4 valt op dat bij de meerderheid van de vragen overwegend voor de hogere schaalwaarden is gekozen. Opmerkelijk is het resultaat bij vraag 1 waar uitsluitend schaalwaarde 4 en 5 gekozen is en bij vraag 13 waar een groot aantal respondenten schaalwaarde 3 kiest. Bij vraag 17 wijzen we op de grote spreiding van de gekozen schaalwaarden.

Tabel 3.4: Overzicht van de frequenties van de door de respondenten op de vijfpuntsschaal gekozen waarden voor de verschillende vragen, de gemiddelde score ($\bar{x}$) en de standaarddeviatie (SD). VNR: vraagnummer. Onder 'Onderwerp' geven we de essentie van de vragen weer. Voor de volledige vragen verwijzen we naar bijlage 2 of gele inlegvel.

Score	1	2	3	4	5	N	$\bar{x}$	SD
VNR Onderwerp								
1 Voorkomen vakinh. samenw.	-	-	-	9	22	31	4.7	0.5
4 Wezenlijk belang van vakinh. samenw.	2	2	6	12	11	33	3.9	1.2
5 Stimulering van vakinh. samenw.	2	1	3	11	16	33	4.2	1.1
6 Volledige integratie van de natuurw.	1	-	1	9	19	30	4.5	0.9
7 Volledige integratie in de toekomst	3	1	6	8	12	30	3.8	1.3
8 Haalbaarheid kortdurende projecten	-	2	7	9	15	33	4.1	1.0
9 Wenselijkheid kortdurende projecten	-	-	4	15	13	32	4.3	0.7
10 Haalbaarheid van vakkenverb.	2	4	7	7	13	33	3.8	1.3
11 Wenselijkheid van vakkenverb.	1	2	9	10	11	33	3.9	1.1
12 Toekomstige mogelijkheden vakkenverb.	2	1	7	11	11	32	3.9	1.1
13 Toekomstige toename vakkenverb.	2	2	14	10	4	32	3.4	1.0
17 Eindexamen en vakoverschr. leerstofelem.	6	1	8	6	11	32	3.5	1.5
19 Oog en vakinh. samenw.	3	1	7	10	10	31	3.7	1.2
21 Bevordering begripsvorming	-	2	9	7	15	33	4.1	1.0

Gemiddelde scores per respondentengroep

In tabel 3.5 geven we per vraag een overzicht van de gemiddelde scores per respondentengroep. We merken op dat de lage gemiddelde scores in vraag 7 (INS, NVO) tot stand kwamen door de sterk afwijkende mening van telkens één respondent. De achteraf gezien minder gelukkige negatieve formulering van deze vragen heeft bij de respondenten overigens - zoals blijkt uit hun commentaren - niet tot verwarring geleid.

Uit tabel 3.5 blijkt verder dat de waarde van het totaal generaal gemiddelde (TG) 4.0 bedraagt. We concluderen dan ook dat de respondenten het in het algemeen eens waren met de stellingen.

Bij nadere beschouwing van de gemiddelde scores per respondentengroep (RG, zie tabel 3.5) ten opzichte van het totaal generaal gemiddelde (TG) is het verschil tussen enerzijds 'CITO' (CIT) en - in mindere mate - 'NIBI' (NIB) en anderzijds 'Stuurgroep' (STG) opvallend. Deze divergentie is een aanduiding voor een duidelijk verschil in

stellingname van deze groepen ten aanzien van de geformuleerde vragen. Met name bij de indeling van respondenten naar functie verschilt het aantal respondenten per groep sterk (tabel 3.2). Vooral in een kleine respondentengroep kan de afwijkende mening van één van de respondenten de gemiddelde score sterk beïnvloeden.

Tabel 3.5: Overzicht van gemiddelde scores op een vijfpuntsschaal per vraag per respondentengroep, de gemiddelde score per respondentengroep (RG), de gemiddelde score per vraag (TOT), de standaarddeviatie (SD) en het totaal generaal gemiddelde (TG). VNR: vraagnummer (zie bijlage 2 of gele inlegvel).

	INS	VAK	NVO	KPC	SLO	CIT	NIB	AVS	STG	TOT	SD
N:	4	12	2	1	6	3	1	3	2	34	
VNR											
1	4.8	4.4	4.5	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	0.5
4	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	2.7	1.0	4.0	5.0	3.9	1.2
5	4.0	4.6	4.5	4.0	4.3	3.0	1.0	4.0	5.0	4.2	1.1
6	4.7	4.6	5.0	5.0	4.7	3.0	5.0	4.3	-	4.5	0.9
7	2.7	4.3	2.0	5.0	4.3	3.5	5.0	3.0	-	3.8	1.3
8	4.8	4.3	4.5	3.0	4.2	2.7	3.0	4.0	5.0	4.1	1.0
9	4.5	4.4	4.5	4.0	4.3	3.5	3.0	4.0	5.0	4.3	0.7
10	3.3	4.0	3.5	4.0	3.8	2.3	5.0	3.7	5.0	3.8	1.3
11	3.5	4.1	3.5	4.0	4.5	2.3	5.0	3.7	3.5	3.9	1.1
12	3.0	3.8	3.5	4.0	4.3	3.0	5.0	4.0	5.0	3.9	1.2
13	2.3	3.1	3.0	4.0	3.7	2.7	5.0	4.0	5.0	3.4	1.0
17	4.3	3.2	3.0	1.0	4.2	3.0	1.0	3.7	5.0	3.5	1.5
19	3.7	3.9	3.0	4.0	4.5	2.7	1.0	3.5	5.0	3.7	1.2
21	4.0	3.7	4.0	4.0	4.3	4.0	3.0	4.7	5.0	4.1	1.0
RG	3.8	4.0	3.8	3.9	4.3	3.1	3.4	4.0	4.9	TG 4.0	

Gemiddelde scores naar vakachtergrond

In tabel 3.6 (eerste deel) zijn de respondenten geordend naar vakachtergrond. In deze tabel (eerste deel) valt op dat - hoewel de groepen 'scheikunde' (SC) en 'overig' (OV) een wat positievere stellingname vertonen - de verschillen tussen de groepen (veel) minder groot zijn dan die tussen de groepen in tabel 3.5.

Voorts hebben we de respondenten verdeeld in twee groepen, namelijk groep 1: 'Inspectie' (INS), 'Vakdidactiek' (VAK) en 'NVON' (NVO) en groep 2: de overige respondentengroepen (tabel 3.6, tweede deel). De reden voor deze tweedeling was de veronderstelling dat de vertegenwoordigers van groep 1 wellicht wat dichter bij de dagelijkse onderwijspraktijk staan dan de vertegenwoordigers van groep 2.

De gemiddelde score van deze twee groepen bedraagt respectievelijk 3,9 (groep 1) en 4,0 (groep 2). Op basis van de vrijwel gelijke waarden van deze scores concluderen we dat de opvattingen van groep 1 in het algemeen niet verschillen van die van groep 2. Een reden hiervoor kan zijn dat alle respondenten onderwijservaring hebben of

(veel) contacten hebben met de dagelijkse onderwijspraktijk. We beschikken echter over onvoldoende informatie om deze veronderstelling te kunnen onderbouwen.

Tabel 3.6: Overzicht van gemiddelde scores op een vijfpuntsschaal per vraag per respondentengroep geordend naar vakachtergrond, totaal gemiddelde score per groep (RG) en standaarddeviatie. BI: biologie; NA: natuurkunde; SC: scheikunde; OV: overig; SD: standaarddeviatie; 1: groep 1 ('Inspectie': INS, 'Vakdidactiek': VAK en 'NVON': NVO); 2: groep 2 (de overige respondentengroepen); VNR: vraagnummer (zie bijlage 2 of gele inlegvel); RG: gemiddelde score per respondentengroep.

	BI	SD	NA	SD	SC	SD	OV	SD		1	SD	2	SD
N:	16		6		10		2			18		16	
VNR													
1	4.7	0.5	4.7	0.5	4.8	0.5	5.0	0.0		5.0	0.5	5.0	0.0
4	3.4	1.3	3.8	0.8	4.7	0.5	4.0	1.4		4.0	0.7	3.7	1.2
5	3.8	1.3	4.2	1.2	4.8	0.4	4.0	1.4		4.3	0.9	3.9	1.3
6	4.5	1.1	4.7	0.5	4.5	0.5	3.0	0.0		4.7	0.8	4.3	1.1
7	4.4	1.0	3.7	0.8	3.0	1.7	3.0	0.0		3.7	1.4	4.0	1.2
8	4.1	1.1	3.7	1.0	4.4	1.0	4.5	0.5		4.3	1.0	3.8	0.9
9	4.3	0.8	4.0	0.6	4.4	0.5	4.5	0.5		4.4	0.7	4.1	0.6
10	3.9	1.3	3.8	0.8	3.2	1.5	5.0	0.0		3.8	1.0	3.8	1.5
11	3.8	1.2	4.2	0.8	3.6	1.0	4.5	0.5		3.9	0.9	3.8	1.3
12	3.8	1.4	3.5	0.8	4.1	0.9	4.5	0.5		3.6	1.1	4.1	1.2
13	3.2	1.1	3.2	0.8	3.6	1.0	4.5	0.5		2.9	0.8	3.8	1.1
17	2.7	1.3	3.3	1.9	4.7	0.5	4.0	1.4		3.5	1.5	3.5	1.6
19	3.7	1.6	3.8	0.8	3.8	0.7	4.0	1.4		3.7	1.2	3.7	1.3
21	4.0	0.8	3.3	1.4	4.5	0.9	5.0	0.0		3.8	1.2	4.3	0.9
RG	3.9	0.3	3.9	0.3	4.1	0.2	4.3	0.2		3.9	0.3	4.0	0.3

3.3.2 Kwalitatieve resultaten

In deze paragraaf geven we de essentie weer van de toelichtingen en opmerkingen van de respondenten zoals die per vraag zijn samengevat in het verslag van vraagronde-1 (Beeftink, Koetsier & Voogt, 1994; zie ook bijlage 4). Deze gegevens betreffen twee categorieën, namelijk 'integratie/samenwerking in huidige praktijk' en 'integratie/samenwerking in toekomstige praktijk'. We ordenen de kwalitatieve resultaten binnen deze twee categorieën aan de hand van de in § 3.1 geformuleerde deelonderzoeksvragen.

Integratie/samenwerking in de huidige praktijk

Respondenten noemen geen scholen waar integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking in de bovenbouw in de huidige praktijk voorkomt. Zij noemen wel enkele scholen waar integratie/samenwerking in het verleden voorkwam.

Welke vormen van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Respondenten noemen als vormen van integratie/samenwerking gezamenlijke projecten en coördinatie, namelijk het maken van afspraken over practica, het ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden en overleg over vakgrensoverschrijdende leerstof.

Welke onderwerpen voor integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Onderwerpen die volgens respondenten bij integratie/samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen aan de orde komen, zijn onder meer milieu, voeding, gezondheid en onderzoeksvaardigheden.

Welke effecten van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Respondenten melden onder meer de volgende effecten van integratie/samenwerking: toename in motivatie van leerlingen en docenten, gaan zien van samenhangen tussen de vakken als gevolg van een geïntegreerd leerstofaanbod, een realistischer context voor onderzoeksoopdrachten en het vermijden van overlap in leerstof. Door respondenten verwachte effecten van integratie/samenwerking op het terrein van de natuurwetenschappen zijn: een mogelijke bevordering van begripontwikkeling, verschuiving van wetenschapsgerichtheid in het onderwijs naar maatschappijgerichtheid, ontwikkeling van een gemeenschappelijk begrippenkader voor docenten in de natuurwetenschappen, het bevorderen van het verwerven van vaardigheden, het inzichtelijk maken van samenhangen en een stimulerende invloed ten aanzien van integratie/samenwerking met andere vakgebieden. Dit laatste vinden respondenten belangrijk, bijvoorbeeld samenwerking met aardrijkskunde, geschiedenis en maatschappijleer. Voorts zouden bij een geïntegreerde aanpak van de natuurwetenschappen de toepassingen van de natuurwetenschappen in samenleving en techniek voor leerlingen beter begrijpelijk worden.

Welke integratie/samenwerking beïnvloedende factoren noemen deskundigen?

Als voornaamste oorzaken voor het nauwelijks voorkomen van integratie/samenwerking worden genoemd de vrije vakkenpakketkeuze en het ontbreken van externe prikkels, zoals het ontbreken van samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken in examenprogramma's, leerplannen en leerboeken.¹ Verder noemen respondenten de grote autonomie van de docent, cultuurverschillen tussen docenten in de verschillende natuurwetenschappen en de sterke vakdisciplinegerichtheid van eerstegraads opleidingen. Ook tijdgebrek van docenten speelt volgens respondenten een grote rol.

¹ Volledigheidshalve vermelden we dat er destijds een poging is gedaan de werkgroepen eind-examen scheikunde (WES), natuurkunde (WEN) en biologie (WEB) op één lijn te krijgen. Doordat de start van deze commissies enkele jaren uiteen liep, is dit niet gelukt.

Integratie/samenwerking in toekomstige praktijk

Welke vormen van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Volgens respondenten is er in de toekomst in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs geen of nauwelijks plaats voor volledige integratie van de natuurwetenschappen. Volledige integratie stuit volgens hen op een aantal bezwaren, zoals het niveau en vooral de omvang van de examenprogramma's én een problematische aansluiting bij het hoger onderwijs met gescheiden disciplines. Dit betekent niet dat de respondenten elke vorm van integratie afwijzen. Een aantal respondenten pleit voor een geïntegreerd vak als science als natuurwetenschappelijke basis voor alle leerlingen. Enkele respondenten vinden volledige integratie van een deel van de leerstof wenselijk. Eén respondent vindt volledige integratie een nuttige zaak, echter alleen wanneer al in de onderbouw wordt gestart met volledig geïntegreerde leerstof.

De meerderheid van de respondenten acht integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding (zie § 2.5) wel gewenst en haalbaar, bijvoorbeeld bij bepaalde leerstofonderdelen of verschijnselen. Zij menen dat vakkenverbinding de samenhang van de betreffende leerstofonderdelen uit de deelnemende vakken voor de leerling inzichtelijker kan maken. Ook projectonderwijs vinden respondenten in het algemeen een vorm van onderwijs waarin integratie/samenwerking realiseerbaar en gewenst is. Volgens enkele respondenten kan projectonderwijs een stap zijn in de richting van verdergaande integratie/samenwerking.

Welke onderwerpen voor integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Respondenten zijn van mening dat onderwerpen voor integratie/samenwerking moeten aansluiten bij de interesses van leerlingen en een relatie moeten hebben met de maatschappelijke werkelijkheid. Volgens hen is het aanbieden van de leerstof in contexten gunstig. Zij noemen als geschikte onderwerpen voor integratie/samenwerking onder meer het thema 'milieu' en onderwerpen uit de humane biologie op het gebied van gezondheid en ziekte. Verder noemen zij onderwerpen op het gebied van biochemie, biomechanica en onderwerpen als 'het oog', 'het oor' en 'hart en circulatie'. Ook vermelden zij aan landbouw gerelateerde onderwerpen als 'water' en 'bodem'. Ten slotte noemen zij 'materialen en structuren' (onder meer chemische samenstelling en bouwelementen van organische structuren). Voor een volledig overzicht van deze onderwerpen verwijzen we naar vraag 24 uit vraagronde-2 (zie bijlage 3 of gele inlegvel).

Welke effecten van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

In het algemeen verwachten respondenten dat integratie van leerstof zal leiden tot een betere begripsontwikkeling bij leerlingen. De effecten van integratie op begripsontwikkeling zijn volgens enkele respondenten echter sterk afhankelijk van de kwaliteit van

de docenten en het beschikbare onderwijsmateriaal.

Andere effecten als gevolg van integratie/samenwerking zijn volgens respondenten bevordering van de professionaliteit en motivatie van docenten. Voor leerlingen verwachten zij verbetering van leerklimaat en motivatie, een betere voorbereiding op natuurwetenschappelijk onderzoek en een beter begrip van toepassingen van natuurwetenschappen in samenleving en techniek. In dit verband wijzen respondenten erop dat leerlingen in (toekomstige) leefwereld- of beroepssituaties vakinhoudelijke kennis vaak geïntegreerd moeten gebruiken.

Volledige integratie van vakken zou volgens respondenten als nadelig effect hebben dat leerlingen geen afzonderlijke vakken meer kunnen kiezen en onvoldoende voorbereid worden op het tertiair onderwijs. Voorts leidt naar de mening van enkele respondenten deze vorm van integratie tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken.

Volgens respondenten is het integreren van een aantal kennisgebieden uit de afzonderlijke vakken wel goed mogelijk. Als gevolg hiervan zou er een betere aansluiting ontstaan bij de belevings- en ervaringswereld van de leerlingen en zouden zij meer interdisciplinair leren werken. Respondenten menen ook dat de verrijking van de lesinhouden - als gevolg van de integratie van de leerstof - het onderwijs met name voor meisjes aantrekkelijker maakt. Overigens wijzen respondenten erop dat samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen niet alleen gericht zou moeten zijn op leerinhouden maar ook zou moeten bijdragen tot het bevorderen van zelfstandig leren van leerlingen.

Welke integratie/samenwerking beïnvloedende factoren noemen deskundigen?

Bevorderend voor integratie/samenwerking zijn volgens respondenten hierop toegesneden examenprogramma's en lerarenopleidingen. Verder noemen zij het invoeren van 'een gezondheidsprofiel' in de bovenbouw en het invoeren van een vak als science bijvoorbeeld in 4-vwo. Respondenten verwachten van de basisvorming een integratie/samenwerking bevorderende invloed. Stimulering van integratie en vakinhoudelijke samenwerking kan volgens hen plaats vinden door externe prikkels in de vorm van wet- en regelgeving, door goede opleidingen en nascholing en het ontwikkelen van adequaat lesmateriaal. Respondenten wijzen erop dat docenten vooral door tijdgebrek in het algemeen niet in staat zijn zonder hulp dergelijk lesmateriaal te ontwikkelen. Deze hulp zou bijvoorbeeld gegeven kunnen worden door het Instituut voor Leerplanontwikkeling (SLO). Daarnaast pleiten respondenten voor het aan docenten beschikbaar stellen van geïntegreerd lesmateriaal. Zij merken op dat integratie van leerstof ertoe bijdraagt dat leerlingen gaan inzien dat 'verkokerd denken' niet leidt tot een adequate aanpak van problemen. Een geïntegreerd leerstofaanbod stimuleert volgens hen het verwerven van probleemoplossingsvaardigheden van leerlingen.

Verder wijzen respondenten op het belang van goede randvoorwaarden voor docenten. Als niet bevorderend zien zij de geringe sturing van de overheid en het ontbreken van bovengenoemde bevorderende factoren.

Bij de invoering van het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en het doorstroomprofiel 'Natuur en Gezondheid' met daarin alle drie de natuurwetenschappen, zullen volgens respondenten de mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding waarschijnlijk toenemen. Om deze mogelijkheden in de praktijk te realiseren, zal volgens hen de taakbelasting voor docenten moeten worden verminderd. Volgens respondenten zijn de huidige examenprogramma's te specifiek en te overladen. Bovendien is het voor docenten - mede als gevolg van hun monodisciplinaire opleiding - niet mogelijk adequate deskundigheid voor meer dan één vak te verwerven.

3.4 Bespreking van de resultaten van vraagronde-1 en consequenties voor vraagronde-2

In deze paragraaf bespreken we de resultaten van vraagronde-1 en gaan we in op de consequenties hiervan voor de opzet en de uitvoering van vraagronde-2.

Resultaten van vraagronde-1 en consequenties voor de opzet van vraagronde-2

In hoofdstuk 1 stelden we dat - gezien de ongedeelde ervaringswereld van de leerlingen - integratie van de natuurwetenschappelijke vakken voor de hand ligt. In de literatuurstudie vonden we geen Nederlandse praktijkvoorbeelden van integratie van leerstof in de bovenbouw van 'doorsnee' scholen voor voortgezet onderwijs. Dit was een van de redenen om een Delphi-onderzoek te entameren. Uit de resultaten van vraagronde-1 van dit onderzoek bleek dat deskundigen van oordeel zijn dat er in de bovenbouw niet of nauwelijks plaats is voor volledige integratie van de natuurwetenschappelijke vakken (tabel 3.4 en tabel 3.6). Een aantal respondenten pleit echter wel voor de invoering van een geïntegreerd vak als science. Enkele respondenten vinden volledige integratie van een deel van de leerstof wenselijk. Respondenten zien wel goede mogelijkheden voor vakkenverbinding of een gezamenlijk project. Voorts menen zij dat de invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid' in de nieuwe tweede fase integratie/samenwerking kan bevorderen.

Omdat volgens deskundigen volledige integratie van de natuurwetenschappelijke vakken in het profieldeel van de nieuwe tweede fase van het voortgezet onderwijs geen reële optie is, willen we nader onderzoek doen naar wel haalbare vormen van integratie/samenwerking. In dit verband noemen deskundigen 'vakkenverbinding' en 'een gezamenlijk project'. Dit zijn vormen van integratie die 'volledige integratie' het meest benaderen. We besloten daarom in een tweede vraagronde met name gegevens te verzamelen over 'vakkenverbinding'. 'Vakkenverbinding' impliceert 'een gezamenlijk project'. Het verschil betreft het niet of wel hanteren van gemeenschappelijke doelstellingen met betrekking tot de deelnemende vakken (zie § 2.5).

Vraagronde-1 betrof integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen

docenten in de natuurwetenschappen in het algemeen. We baseerden ons daarbij op de deelvragen van onderzoeksvraag B. Voor vraagronde-2 formuleerden we deelvragen naar analogie van die voor vraagronde-1, maar nu toegespitst op vakkenverbinding. We voegden aan deze vragen één nieuwe deelonderzoeksvraag toe, namelijk: *‘Welke mening hebben deskundigen over de wenselijkheid en de wijze van het ontwikkelen van lesmateriaal voor integratie/samenwerking?’*

Over het gebruik van verschillende vragenlijsten in de opeenvolgende vraagronden zijn de meningen verdeeld. Maassen & Van Vught (1984) zijn van mening dat gedurende de rondes die het onderzoek duurt telkens dezelfde stellingen ter beoordeling aan de deelnemers moeten worden aangeboden. In de vervolgronden wordt gestreefd naar het vergroten van de consensus ten aanzien van het verifiëren c.q. falsificeren van de gepresenteerde stellingen. In ons onderzoek sloten we aan bij mc-Daniël (1984). Deze stelt dat Delphi-onderzoek - voorzover gericht op een kwalitatieve vraagstelling - meer resultaten kan opleveren, indien men de vragen gedurende de onderzoeksronden aan de nieuw verworven inzichten - uit de voorgaande ronde(n) - kan aanpassen, dan wanneer men gedurende enige rondes dezelfde vragenlijst presenteert. Volgens mc-Daniël kan men, wanneer men voortborduurt op de resultaten van een voorgaande ronde en probeert de probleemstelling met nieuwe vragen op een per ronde toenemend concreet niveau te onderzoeken, er beter in slagen aan te sluiten bij de dynamiek en complexiteit van problemen, hetgeen kan leiden tot herziene probleemdefinities.

Uitvoering van vraagronde-2

Omdat we in vraagronde-2 ook navraag wilden doen bij deskundigen over meer concrete aspecten van de onderwijspraktijk, zoals de keuze van geschikte onderwerpen voor integratie van leerstof, hadden we behoefte aan de inbreng van deskundigen met recente onderwijservaring. Daarom hebben we in vraagronde-2 ook een aantal schoolpracticumdocenten in de natuurwetenschappen benaderd. Dit zijn ervaren docenten in het voortgezet onderwijs die docenten in opleiding tijdens hun praktijkstage begeleiden. Een belangrijk motief bij de keuze voor schoolpracticumdocenten was het vermoeden dat deze personen in het algemeen meer belangstelling hebben voor onderwijskundige ontwikkelingen in het voortgezet onderwijs dan ‘doorsnee-eerstegraadsdocenten’. Verder benaderden we twee andere groepen informanten, namelijk docenten in opleiding tijdens hun beroepsopleiding en docenten met recent voltooide opleiding bij het Interfacultair Instituut voor Lerarenopleiding, Onderwijsontwikkeling en Studievoordigheden (IVLOS) in samenwerking met het Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen (CD-β), Universiteit Utrecht. Op deze wijze hoopten we informatie te verkrijgen over hoe beginnende leraren (in opleiding) aankijken tegen vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen en integratie van leerstof en over een mogelijke invloed van de opleiding op de visie van de genoemde docenten op integratie en samenwerking. In tabel 3.7 geven we een over-

zicht van de informanten waarmee we het panel uitbreidden.

Tabel 3.7: Gekozen groepen informanten ter uitbreiding van het panel.

- Docenten in de natuurwetenschappen in opleiding
- Docenten in de natuurwetenschappen met recent volttooide opleiding
- Schoolpracticumdocenten in de natuurwetenschappen

De vragenlijst van vraagronde-2 (bijlage 3) bestond voornamelijk uit vragen in de vorm van stellingen. Deze lijst werd toegezonden aan alle informanten. Informanten die deelnamen aan vraagronde-1 zonden we tevens het verslag van die vraagronde.

Na verwerking van de uitkomsten van de tweede vragenlijst en vergelijking ervan met die van de eerste, ontvingen respondenten de geordende resultaten van de tweede vraagronde in de vorm van een verslag (Beeftink, Koetsier & Voogt, 1995). Ook dit verslag is tot stand gekomen via het reeds eerder genoemde 'trio-overleg'. Na een inleiding met onder meer de onderzoeksvragen ten behoeve van het Delphi-onderzoek, presenteerden we eerst de kwantitatieve resultaten in de vorm van tabellen en grafieken, met een analyse daarvan. Evenals in het verslag van vraagronde-1 maakten we bij deze analyse onderscheid tussen de scores van alle respondenten, de scores van de afzonderlijke respondentengroepen en de scores van respondenten met dezelfde vakachtergrond. Vervolgens gaven we een samenvatting van de kwalitatieve resultaten. Ten slotte presenteerden we - als bijlage - de complete respons per vraag, waarvan we in bijlage 5 een voorbeeld geven.

3.5 Resultaten van vraagronde-2

In deze paragraaf beschrijven we de resultaten van de tweede vraagronde van het Delphi-onderzoek. In deze vraagronde maakten we - evenals in vraagronde-1 - gebruik van een vragenlijst (zie bijlage 3 of gele inlegvel). De vragenlijst bestond uit twee delen: een algemeen deel en een specifiek deel.

Het algemene deel - bestemd voor informanten die ook vragenlijst-1 invulden - bevatte enkele vragen over de presentatie van de resultaten van vraagronde-1. De uitkomsten hiervan beschrijven we in § 3.5.1. Het specifieke deel van de vragenlijst was bedoeld voor alle aangeschreven informanten in vraagronde-2 en bevatte inhoudelijke vragen betreffende integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen. De kwantitatieve resultaten van dit deel van de vragenlijst beschrijven we in § 3.5.2, terwijl we de kwalitatieve resultaten presenteren in § 3.5.3.

3.5.1 Resultaten van het algemene deel van vraagronde-2

In de eerste plaats vroegen we de respondenten uit vraagronde-1 nogmaals of ze scholen kenden waar integratie/samenwerking in de bovenbouw van havo/vwo plaatsvindt.

Deze vraag leverde geen nieuwe informatie op.

Voorts werd respondenten gevraagd of zij konden instemmen met de weergave van hun commentaar bij de afzonderlijke vragen in het verslag van de eerste vraagronde. Slechts 24% van de respondenten heeft deze vraag beantwoord, vermoedelijk voornamelijk vanwege tijdgebrek. De respondenten die deze vraag wel beantwoordden stemden in het algemeen in met de weergave van hun commentaar bij de vragen.

Vervolgens vroegen we de respondenten of zij konden instemmen met de samenvattingen van hun commentaren per vraag in het verslag van de eerste vraagronde. In het algemeen herkenden de respondenten zich in deze samenvattingen.

De resultaten van vraagronde-1 presenteerden we in een verslag met drie hoofdparagrafen: 'Inleiding', 'Overzicht kwantitatieve resultaten', 'Overzicht kwalitatieve resultaten' (samenvatting van de commentaren van respondenten) en - als bijlage - 'Resultaten per vraag' (een integrale weergave van de resultaten per vraag inclusief de commentaren van respondenten). We vroegen de respondenten uit vraagronde-1 of zij de wijze van presentatie voldoende overzichtelijk en duidelijk vonden. Uit hun antwoorden bleek dat dit inderdaad het geval was. Uit het commentaar van enkele respondenten bij deze vraag bleek - naast complimenten - dat een minder uitgebreide versie van het verslag misschien overzichtelijker zou zijn geweest.

Een Delphi-onderzoek vereist in principe complete rapportages naar de deelnemers. We hadden wellicht nóg meer aandacht kunnen besteden aan de vormgeving van het verslag. Bijvoorbeeld door het toevoegen van een leeswijzer en samenvattende conclusies

Ten slotte boden we de respondenten uit vraagronde-1 de gelegenheid hun eerder gegeven commentaren te nuanceren aan de hand van de vraag: 'Mede naar aanleiding van de antwoorden, toelichtingen en opmerkingen van andere respondenten, wil ik mijn oorspronkelijke uitspraak (enigszins) wijzigen, namelijk bij de volgende vraag/vragen.' Van de gelegenheid hun uitspraken te wijzigen, hebben zij geen gebruik gemaakt. Wel hebben twee respondenten in totaal vier inhoudelijke reacties gegeven op commentaren van andere informanten. Deze reacties voegden echter geen nieuwe gezichtspunten toe aan de door respondenten - zowel in vraagronde-1 als vraagronde-2 - gegeven commentaren, en zijn bijgevolg reeds verwerkt in de beschrijving van de kwalitatieve resultaten van beide vraagronden in § 3.3.2 en § 3.5.3.

3.5.2 Kwantitatieve resultaten van het specifieke deel van vraagronde-2

In deze paragraaf presenteren we de kwantitatieve resultaten in de vorm van tabellen en grafieken, voorzien van commentaar. Na een overzicht van de respons volgen een overzicht en een analyse van de scores van de respondenten.

Respons

Ten behoeve van vraagronde-2 van het Delphi-onderzoek zijn 91 deskundigen aange-

schreven met het verzoek een vragenlijst (bijlage 3) in te vullen. Deze deskundigen zijn op basis van hun functie verdeeld in twaalf categorieën; negen categorieën hebben betrekking op informanten die ook vragenlijst-1 invulden.

In deze paragraaf duiden we de totale groep respondenten uit de eerste vraagronde aan met de code R93. De in de tweede vraagronde nieuw aangeschreven informanten zijn verdeeld in drie categorieën (tabel 3.8).

Tabel 3.8: Overzicht van categorieën van informanten die in vraagronde-2 nieuw zijn aangeschreven.

SPD Schoolpracticumdocenten biologie, natuurkunde en scheikunde.

D93 Afgestudeerde docenten in opleiding die in 1993 met hun opleiding startten.

D94 Docenten in opleiding, gestart in 1994.

In tabel 3.9 geven we een overzicht van zowel de totale respons als de respons per respondentengroep in vraagronde-2.

Tabel 3.9: Overzicht van de respons in vraagronde-2. VVL: aantal verzonden vragenlijsten; IVL: aantal terugontvangen ingevulde vragenlijsten; AFZ: aantal afzeggingen. De code R93 betreft de totale groep respondenten uit vraagronde-1.

Respondentengroepen	VVL	IVL	AFZ
INS	4	3	1
VAK	12	7	5
NVO	2	0	2
KPC	1	1	0
SLO	6	4	2
CIT	3	2	1
NIB	1	0	1
AVS	3	2	1
STG	2	1	1
Totaal R93	34 100%	20 59%	14 41%
SPD	28	18	10
D93	15	9	6
D94	14	6	8
Totaal	57 100%	33 58%	24 42%
Totaal generaal	91 100%	53 58%	38 42%

Uit tabel 3.9 blijkt dat de percentages ingevulde vragenlijsten van de respondentengroepen behorend tot 'R93' en de overige groepen opvallend gelijk zijn. In totaal werkte 58% van de aangeschrevenen mee. Deze respons ligt duidelijk lager dan bij de

tweede vraagronde in een qua opzet vergelijkbaar Delphi-onderzoek van Koetsier (1991): namelijk 70% van 122 verzonden vragenlijsten. Wij vermoeden dat vooral tijdgebrek en de uitgebreidheid van de vragenlijst een belangrijke rol speelden, gezien het grote aantal respondenten dat niet reageerde op de herinneringsbrief. Een aantal respondenten van groep 'D94' achtte zich volgens hun begeleider niet deskundig wegens gebrek aan praktijkervaring.

Informanten die aan het onderzoek geen medewerking konden verlenen, is verzocht de vragenlijst terug te zenden met opgaaf van redenen. Ongeveer twee maanden na verzending van de vragenlijsten heeft de onderzoeker de informanten die nog niet hadden gereageerd schriftelijk benaderd met het verzoek dit alsnog te doen. Een deel van hen gaf gehoor aan dit verzoek. De aangeschrevenen die niet meewerkten, gaven daarvoor diverse redenen. Drie informanten noemden als reden tijdgebrek, één ziekte en één achtte zich op dit terrein niet deskundig. De meeste informanten reageerden niet op de hen toegezonden herinneringsbrief.

In tabel 3.10 geven we de respons van aangeschrevenen gegroepeerd naar vakachtergrond. Deze vakachtergrond speelt tevens een rol bij de analyse van de door respondenten gekozen schaalwaarden.

Tabel 3.10: Overzicht van respondenten geordend naar vakachtergrond.

Respondentengroepen	R93	SPD	D93	D94	Totaal	%
Biologie	9	15	6	4	34	64
Natuurkunde	3	1	-	-	4	8
Scheikunde	7	2	3	2	14	26
Overig	1	-	-	-	1	2
Totaal	20	18	9	6	53	
%	38	34	17	11	100	100

Opvallend is de sterk ongelijke verdeling van respondenten over de diverse vakken.

Overzicht en analyse van scores

We geven nu een overzicht van de scores van respondenten bij 31 vragen (zie bijlage 3 of gele inlegvel). We merken op dat niet alle respondenten elke vraag hebben beantwoord.

Frequenties van de scores

In tabel 3.11 geven we een overzicht van de frequenties van de door respondenten gekozen schaalwaarden bij de verschillende vragen. De resultaten van de vragen 24 en 25 komen, gezien het afwijkende karakter van deze vragen, aan het eind van deze paragraaf aan de orde.

Tabel 3.11: Overzicht van de frequenties van de door de respondenten op de vijfpuntsschaal gekozen waarden voor de verschillende vragen, de gemiddelde score ($\bar{x}$) en de standaarddeviaties (SD). VNR: vraagnummer. Onder 'Onderwerp' geven we in 'trefwoorden' de essentie van de vragen weer. Zie voor de volledige vragen bijlage 3 of gele inlegvel. Aangezien de in de vragen genoemde vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen was gericht op vakgrensoverschrijdende leerstofelementen, hebben we - waar relevant - de term 'integratie' toegevoegd aan deze verkorte weergave.

Score		1	2	3	4	5	N	$\bar{x}$	SD
VNR Onderwerp									
6	S.w./integr. en realistisch. onderw.	1	7	7	25	14	54	3.8	1.0
7	Samenw. en training alg. vaard.	-	3	10	17	23	53	4.1	0.9
8	Samenw. ook met andere vakken	2	7	13	19	13	54	3.6	1.1
9	Voll. integr. en identiteitsverlies	4	6	14	20	10	54	3.5	1.1
10	Beperking kortdurende projecten	6	20	4	16	7	53	3.0	1.3
11	Wenselijkheid vakkenverbinding	1	4	5	22	21	53	4.1	1.0
12	Vakkenverb. en identiteitsverlies	1	2	6	24	19	52	4.1	0.9
13	Cultuurversch. tussen doc. nat.w.	4	9	5	22	13	53	3.6	1.2
14	Remmende invl. cultuurversch.	4	23	11	11	4	53	2.8	1.1
15	Ontwikkeling lesmateriaal	1	3	7	18	24	53	4.2	1.0
16	Aandacht voor alg. vaardigh.	1	6	10	15	21	53	3.9	1.1
17	Ontwikkelingen in de Basisvorming	1	3	12	20	16	52	3.9	1.0
18	Onderwijs Algem. Natuurwetensch.	8	14	15	11	4	52	2.8	1.2
19	Nascholing Algem. Natuurwetensch.	2	5	5	17	23	52	4.0	1.1
20	Invoering studielastprincipe	2	8	15	18	10	53	3.5	1.1
21	Dwingend voorschr. samenw.	1	13	9	15	14	52	3.5	1.2
22	Ontwikkeling didactiek samenw.	2	12	15	11	11	51	3.3	1.2
23	S.w./integr. en praktijkvoorb.	1	2	7	19	24	53	4.2	0.9
26	Ontw. lesmat. met docenten nat.w.	2	-	3	16	32	53	4.4	0.9
27	Inschakeling prof. leerstofontw.	3	6	13	16	14	52	3.6	1.2
28	Begripsv. doc. en geschikt lesmat.	1	1	6	21	22	51	4.2	0.9
29	Begripsvorming bij leerlingen	-	2	8	21	22	53	4.2	0.8
30	Contextgebied Gezondh. en Ziekte	3	7	9	20	12	51	3.6	1.2
31	S.w./integr. en systeemscheiding	-	1	4	22	25	52	4.4	0.7
32	Natuurw. denk- en werkwijze	1	5	7	21	18	52	4.0	1.0
33	Complementariteit natuurw. vakken	-	1	4	19	26	50	4.4	0.7
34	Samenw. en training alg. vaard.	-	2	3	24	24	53	4.3	0.8
35	Integratie en begripontw. leerl.	1	2	14	20	16	53	3.9	0.9
36	Keuze realistischer leercontexten	1	1	18	18	15	53	3.8	0.9
37	Veranderingsbereidheid van doc.	8	9	16	15	9	52	3.3	1.1
38	Samenw. en arbeidssatisfactie	2	4	17	25	5	53	3.5	0.9

Gemiddelde keuzepercentages per schaalw. 4% 11% 18% 36% 31% 100%

Uit tabel 3.11 blijkt dat gemiddeld tweederde (67%) van de respondenten heeft gekozen voor de schaalwaarden 4 en 5. Opvallend is het resultaat bij vraag 10, waarbij de respondenten duidelijk wel of niet instemmen met de stelling ten aanzien van de moge-

lijkheden voor projectonderwijs in de nieuwe tweede fase. Van hen kiest namelijk 49% voor de schaalwaarden 1 en 2 en 43% voor de schaalwaarden 4 en 5. Bij deze vraag vinden we dan ook de grootste spreiding, zoals blijkt uit de waarde 1.3 van de standaarddeviatie. Verder valt op dat bij een groot aantal afzonderlijke vragen een hoog percentage van de respondenten gekozen heeft voor de schaalwaarden 4 en 5. De betreffende vragen en de bijbehorende percentages zijn: 6 (79%), 12 (83%), 15 (79%), 23 (81%), 26 (91%), 28 (84%), 29 (81%), 31 (90%), 33 (90%), en 34 (91%).

Gemiddelde scores per respondentengroep

In tabel 3.12 geven we per vraag een overzicht van de gemiddelde scores per respondentengroep. Deze tabel vormde de basis voor verdere analyse van de gegevens.

Uit tabel 3.12 blijkt dat 42% van de gemiddelde scores per vraag (TOT) een waarde heeft van 4.0 of meer en 84% van deze scores een waarde van tenminste 3.5. Van de gemiddelde scores per respondentengroep (RG) heeft 100% een waarde van 3.5 of meer, 73% een waarde van 3.8 of meer en 27% een waarde van tenminste 4.0. De vermelde standaarddeviaties geven een indruk van de mate van spreiding van de scores van respondentengroepen per vraag. Ten slotte bedraagt het totaal generaal gemiddelde (TG) 3.8 met een standaarddeviatie van 0.4.

We concluderen uit deze gegevens dan ook dat de respondenten het in het algemeen eens zijn met de stellingen.

Tabel 3.12: Overzicht van gemiddelde scores op de vijfpuntsschaal per vraag per respondentengroep, de gemiddelde score per respondentengroep (RG), de gemiddelde score per vraag (TOT), de standaarddeviatie (SD) en het totaal generaal gemiddelde (TG). VNR: vraagnummer (zie bijlage 3 of gele inlegvel).

	INS	VAK	KPC	SLO	CIT	AVS	STG	R93	SPD	D93	D94	TOT	SD
N:	3	7	1	4	2	2	1	20	18	10	6	54	
VNR													
6	2.7	3.3	4.0	3.5	3.5	4.0	5.0	3.5	3.8	4.1	4.5	3.8	1.0
7	3.7	3.9	5.0	4.8	4.0	5.0	4.0	4.2	4.3	3.8	3.8	4.1	0.9
8	4.0	3.7	3.0	3.8	3.5	3.5	4.0	3.7	3.7	3.9	2.8	3.6	1.1
9	3.3	3.6	5.0	4.0	4.0	4.5	5.0	3.9	3.6	2.8	2.8	3.5	1.1
10	1.7	3.1	2.0	2.8	2.0	1.5	1.0	2.4	3.5	2.8	3.3	3.0	1.3
11	3.7	3.7	5.0	4.8	4.5	2.5	4.0	4.0	4.4	3.6	4.3	4.1	1.0
12	4.0	4.5	4.0	5.0	2.0	4.0	4.0	4.2	4.2	3.6	4.3	4.1	0.9
13	3.0	3.9	5.0	4.5	4.5	5.0	3.0	4.2	3.6	3.0	2.8	3.6	1.2
14	2.3	2.3	2.0	3.0	2.0	1.5	1.0	2.3	3.3	2.5	3.5	2.8	1.1
15	3.7	4.0	5.0	4.5	5.0	4.5	5.0	4.3	4.0	3.9	4.5	4.2	1.0
16	3.0	3.6	5.0	4.8	4.0	4.0	5.0	4.0	4.2	3.2	4.2	3.9	1.1
17	3.0	3.5	4.0	4.0	3.5	4.0	5.0	3.7	3.9	4.0	4.3	3.9	1.0
18	3.7	3.1	5.0	2.5	3.5	3.0	3.0	3.2	2.6	2.2	2.8	2.8	1.2
19	4.3	3.9	5.0	3.8	5.0	5.0	5.0	4.3	3.8	3.9	4.2	4.0	1.1
20	4.0	3.6	5.0	3.8	4.0	4.5	5.0	4.0	3.2	3.2	3.2	3.5	1.1
21	3.7	4.1	3.0	3.0	2.0	4.5	4.0	3.6	3.5	3.8	3.3	3.5	1.2
22	3.3	2.7	3.0	3.8	2.5	3.0	2.0	3.0	3.7	3.3	3.4	3.3	1.2
23	3.7	4.0	4.0	4.3	4.5	4.0	5.0	4.1	4.4	4.3	3.7	4.2	0.9
26	5.0	4.9	4.0	4.6	5.0	4.5	5.0	4.8	3.9	4.4	4.8	4.4	0.9
27	3.0	3.3	5.0	4.3	4.5	3.5	5.0	3.8	3.8	3.1	3.5	3.6	1.2
28	4.3	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	5.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	0.9
29	4.3	3.7	4.0	4.5	4.0	4.0	5.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.2	0.8
30	4.0	2.8	5.0	4.8	3.0	3.5	4.0	3.7	3.6	4.1	3.2	3.6	1.2
31	4.7	4.0	5.0	4.8	5.0	4.0	4.0	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	0.7
32	3.0	2.7	5.0	4.0	3.5	4.5	5.0	3.5	4.3	4.3	4.0	4.0	1.0
33	5.0	3.7	5.0	5.0	4.5	4.0	5.0	4.4	4.5	4.2	4.3	4.4	0.7
34	4.3	3.9	5.0	4.8	4.5	4.0	5.0	4.3	4.5	4.3	3.8	4.3	0.8
35	3.7	3.0	4.0	4.3	4.5	3.5	5.0	3.7	3.8	4.3	4.3	3.9	0.9
36	3.0	4.0	5.0	4.0	3.0	3.5	5.0	3.8	3.7	4.3	3.7	3.8	0.9
37	3.3	3.1	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.5	3.4	3.0	3.7	3.3	1.1
38	3.3	3.4	4.0	3.5	3.5	3.0	4.0	3.5	3.5	3.7	3.5	3.5	0.9
RG	3.6	3.6	4.3	4.1	3.8	3.8	4.2	3.9	3.9	3.7	3.8	TG 3.8	0.4

Geschiede onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking

In vraagronde-2 legden we de respondenten een lijst voor van mogelijk geschikte onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking. De in tabel 3.13 opgesomde onderwerpen zijn door de respondenten in vraagronde-1 genoemd als bij uitstek geschikt voor vakinhoudelijke samenwerking. Uit de antwoorden van de respondenten blijkt dat

zij vakinhoudelijke samenwerking vooral betrekken op het aanbieden van geïntegreerde leerstof. De door ons met ‘vakkenverbinding’ aangeduide vorm van vakinhoudelijke samenwerking is in feite een vorm van integratie van leerstofonderdelen (zie tabel 2.5). In tabel 3.13 hebben we de keuzeonderwerpen gerangschikt op grond van het totaal gemiddelde. Bij gelijke waarden hiervan zijn onderwerpen met een lagere standaarddeviatie hoger geplaatst.

Tabel 3.13: Overzicht per respondentengroep van de gemiddelde score, de totaal gemiddelde score ($\bar{x}$) en de standaarddeviatie (SD) betreffende de keuze van onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding.

Respondentengroepen	Gemiddelde score per groep				Totaal		
	R93	SPD	D93	D94	N	$\bar{x}$	SD
Onderwerpen							
Algemene- en onderzoeksvaardigheden	4.6	4.7	4.3	4.8	52	4.6	0.7
Milieu	4.5	4.7	4.6	4.2	53	4.5	0.8
Begrip energie	4.5	4.6	4.2	3.8	53	4.4	0.8
Biochemie	4.2	4.2	4.3	4.5	53	4.2	0.9
Voeding	4.2	4.0	4.0	4.0	53	4.1	0.9
Bodem	4.3	3.9	4.0	4.0	53	4.1	0.9
Biotechnologie	4.2	3.8	4.4	3.8	52	4.1	0.9
Electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransp.	3.9	4.2	4.2	4.3	52	4.1	0.9
Toxicologie	3.9	3.9	4.1	4.3	51	4.0	0.8
Oog	4.2	4.1	3.9	3.2	52	4.0	0.9
Oor	4.0	3.9	3.8	3.2	51	3.9	0.9
Materialen: stevigheid, chemische samenstelling, structuren-bouwelem., mechanica	4.0	3.8	4.0	4.2	53	3.9	0.9
Gezondheid	4.2	3.7	3.7	3.7	52	3.9	1.1
Landbouw	4.1	3.5	4.0	3.5	53	3.8	1.0
Werking van geneesmiddelen	4.0	3.5	4.0	3.8	52	3.8	1.0
Kringlopen	4.3	3.6	3.2	4.0	53	3.8	1.1
Water in levende- en levenloze natuur	4.3	3.6	3.6	3.3	53	3.8	1.1
Fotosynthese	3.7	3.7	3.8	4.2	52	3.8	1.1
Chemische reacties	3.6	3.8	4.2	3.7	53	3.8	1.1
Geschiedenis van de natuurwetenschappen	4.1	3.1	3.9	4.7	52	3.8	1.2
Mechanica en beweging	3.9	3.7	3.9	2.8	53	3.7	1.0
Sport, houding en beweging	3.7	3.7	3.7	2.8	52	3.7	1.1
Oecologie	3.8	3.8	3.1	2.8	52	3.6	1.0
Hart, circulatie	3.6	3.8	3.6	2.8	52	3.6	1.0
Microscopie: optica, cellen	3.6	3.1	3.4	3.5	52	3.4	1.2
Ziekten als aids, kanker, struma, diabetes	3.2	3.2	2.9	3.3	52	3.2	1.1

Uit de totaal gemiddelde scores ($\bar{x}$) in tabel 3.13 blijkt dat slechts de twee laatste onderwerpen lager scoren dan 3.6, namelijk 3.4 en 3.2. Dit betekent overigens dat gemiddeld geen enkel onderwerp scoort in de categorie ‘oneens’. Bij vergelijking van de ge-

middele scores per respondentengroep blijkt dat de onderlinge verschillen in het algemeen niet groot zijn. Een uitzondering hierop vormt de groep 'D94' die een aantal onderwerpen (oog, mechanica en beweging, en hart en circulatie) duidelijk lager waardeert dan de overige groepen. Anderzijds scoort deze groep het hoogst bij onderwerpen als 'biochemie', 'electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransport', 'toxicologie' en 'fotosynthese'. Wellicht houden deze hoge scores voor sterk chemisch getinte onderwerpen verband met tendensen in het huidige wetenschappelijk onderwijs in de biologie. Opvallend is ook de hoge score voor het onderwerp 'geschiedenis van de natuurwetenschappen' in deze groep.

De respondenten noemen in ronde-2 de drie meest geschikte onderwerpen uit tabel 3.13 in volgorde van belangrijkheid. De resultaten daarvan geven we in tabel 3.14.

Tabel 3.14: Rangorde in onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding.

Keuze	Onderwerp 1				Onderwerp 2				Onderwerp 3				Rangorde
	R93	SPD	D93	D94	R93	SPD	D93	D94	R93	SPD	D93	D94	
Onderwerp													
Vaardigheden	9	10	3	2	8			1	2	1	1	1	38
Milieu	4	5		2	3	4	3	2	3	2	1		29
Energie	3			1		6	1			2	1		13
Gezondheid		1	1		2			1	2	2			9
Biotechnologie		1	1		2	1		1		1			7
Chem. reacties	3					1	1			1	1		7
Water	1				4	1							6
Materialen	1		1			1			1			1	5
Electriciteit	1	1								2			4
Landbouw	1		1							1			3
Voeding				1			1						2
Oog			1										1
Biochemie						1	1		3	1		1	7
Sport					1	2			1	2	1		7
Gesch.nat.wet.								1	2	1	1	1	6
Kringlopen					3				2			1	6
Bodem									3		1	1	5
Geneesm.						1							1
Oor							1						1
Fotosynthese										1	1		2
Oecologie										2			2
Hart en circulatie.									1				1

Opvallend in tabel 3.14 is dat de onderwerpen 'algemene- en onderzoeksvaardigheden'

en 'milieu' veel hoger scoren dan de overige. Wanneer we deze tabel vergelijken met tabel 3.13 dan blijkt dat onderwerpen die als eerste keus worden genoemd, grotendeels een gemiddelde score hebben van tenminste 4.0.

3.5.3 Kwalitatieve resultaten van het specifieke deel van vraagronde-2

In deze paragraaf geven we de essentie weer van de toelichtingen en opmerkingen van de respondenten zoals die per vraag zijn samengevat in het verslag van vraagronde-2 (Beefink, Koetsier & Voogt, 1995; zie ook bijlage 5). We ordenen de verkregen gegevens aan de hand van de deelvragen van onderzoeksvraag B en een toegevoegde deelonderzoeksvraag (§ 3.4). Bij het beantwoorden van de deelonderzoeksvragen noemen we ook enkele kwantitatieve gegevens, namelijk de keuze van respondenten voor bepaalde schaalwaarden (in tabel 3.11). Voor wat betreft de vragen verwijzen we naar bijlage 3 of het gele inlegvel.

Welke vormen van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Uit de resultaten van vraagronde-1 bleek dat respondenten geen of nauwelijks mogelijkheden zien voor volledige integratie van de natuurwetenschappelijke vakken in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Ten aanzien van de stelling uit vraagronde-2: 'Volledige integratie leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken' (vraag 9) zijn de respondenten verdeeld (56% kiest schaalwaarde 4 en 5, 26% kiest schaalwaarde 3). Terwijl het merendeel van de respondenten met deze stelling instemt, zijn met name de - meer multidisciplinair opgeleide - docenten in opleiding ('D93' en 'D94') het hier niet mee eens. Sommige respondenten zijn van mening dat identiteitsverlies mogelijk kan optreden, maar vinden dit geen probleem, omdat zij de huidige vakken scheiding kunstmatig vinden.

De respondenten vinden integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding zeer gewenst bij het aan de orde stellen van bepaalde vakgrensoverschrijdende leerstofonderdelen (vraag 11; 81% kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij zien met name mogelijkheden bij invoering van het studiehuisconcept in de bovenbouw. De respondenten in vraagronde-2 stemmen in het algemeen wel in met de stelling dat vakkenverbinding niet leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken (vraag 12; 83% kiest schaalwaarde 4 en 5). Overigens ziet een aantal respondenten identiteitsverlies niet als een probleem. Zij menen dat leerlingen voor vakspecifieke informatie toch altijd terug moeten vallen op het betreffende vak.

De stelling dat het in de toekomst organiseren in de bovenbouw van kortdurende projecten met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen maar zeer beperkt mogelijk is, leidt tot een duidelijke tweedeling in stellingname van de respondenten (vraag 10; 49% kiest schaalwaarde 1 en 2, 43% schaalwaarde 4 en 5). De respondenten die niet instemmen met het gestelde, vinden dat er met creativiteit en de goede wil van docenten veel mogelijk is op het gebied van projectonderwijs en dat invoering van 'het studie-

huis' in de tweede fase voortgezet onderwijs hiertoe ook een positieve bijdrage kan leveren.

Het vervolg van deze paragraaf gaat vrijwel uitsluitend over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de vorm van vakkenverbinding en - waar van toepassing - de daarbijbehorende samenwerking tussen docenten, kortweg aangeduid met 'vakkenverbinding'. De meningen van deskundigen over aspecten van vakkenverbinding hebben tevens betrekking op een gezamenlijk project. Vakkenverbinding is namelijk te beschouwen als een wat meer gespreid project, waarbij er - in tegenstelling tot bij een gezamenlijk project - nog geen sprake is van gemeenschappelijke doelstellingen.

Welke onderwerpen voor integratie/samenwerking noemen deskundigen?

In vraagronde-2 legden we de respondenten een lijst van onderwerpen voor die door respondenten uit vraagronde-1 geschikt werden geacht voor integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding. De respondenten uit vraagronde-2 vonden vrijwel al deze onderwerpen geschikt voor vakkenverbinding. Hoewel er bij respondenten in vraagronde-2 duidelijke verschillen bestaan in waardering ten aanzien van de diverse onderwerpen, is het opvallend dat geen enkel onderwerp uit de voorgelegde lijst - gezien de totaal gemiddelde scores - in de categorie 'oneens' valt (§ 3.5.2, tabel 3.13). Enkele respondenten merken op dat thema's als 'gezondheid', 'voeding' en 'milieu' het beste aansluiten bij de denk- en leefwereld van leerlingen. Zij vinden het belangrijk binnen het thema 'gezondheid' ook onderwerpen als ziekten en toxicologie ter sprake te brengen. Voorts vinden zij het gewenst onderwerpen in een historische context te plaatsen. Volgens een aantal respondenten zijn er ook onderwerpen uit de lijst waarbij integratie van leerstof vooral tot zijn recht komt bij twee in plaats van drie hierbij betrokken natuurwetenschappelijke vakken. Zij noemen daarbij onderwerpen als 'biochemie' en 'chemische reacties' (met biologie en scheikunde) en 'oog' en 'oor' (biologie met natuurkunde). Respondenten vinden een aantal onderwerpen niet scherp genoeg afgebakend, waardoor sommige voor vakkenverbinding meer of minder geschikte mogelijkheden door hen niet nader konden worden aangeduid. Een aantal respondenten meent dat het item 'algemene- en onderzoeksvaardigheden' niet beschouwd moet worden als een onderwerp maar als een werkvorm c.q. didactiek.

Welke effecten van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Effecten van integratie/samenwerking op leerlingen

De meeste respondenten beschouwen integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding en vakinhoudelijke samenwerking, in het algemeen als belangrijk en als een brug naar realistisch onderwijs (vraag 6; 72% kiest schaalwaarde 4 en 5), omdat voorbeelden uit de dagelijkse praktijk vaak een interdisciplinair karakter hebben.

Respondenten steunen de stelling dat het integreren van leerstof de systeemscheiding tussen de verschillende vakdisciplines doorbreekt (vraag 31; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5). Enkele respondenten maken kanttekeningen bij deze stelling. Zij menen dat het doorbreken van systeemscheiding juist leidt tot minder inzicht van leerlingen in de afzonderlijke vakken en tot achteruitgang in kritisch denken.

Ook de stelling dat vakkenverbinding tot een beter beeld leidt van de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze, wordt door de meeste respondenten gesteund (vraag 32; 75% kiest schaalwaarde 4 en 5). Een aantal respondenten stemt niet in met de stelling. Zij noemen als argumenten daarvoor onder meer dat dit effect te zeer afhankelijk is van de kwaliteit van de docenten en dat de denk- en werkwijze bij de natuurwetenschappen niet afwijkt van die bij andere vakken. Eén respondent stelt dat *de* natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze niet bestaat, omdat de bij de natuurwetenschappelijke vakken gebruikte - vaak sterk verwante - methodieken in een vakspecifieke context betekenis krijgen.

De stelling dat vakkenverbinding leidt tot beter inzicht in de gemeenschappelijke aspecten (de complementariteit) van de wetenschappelijke denk- en werkwijze in de afzonderlijke natuurwetenschappen, wordt door respondenten in zeer ruime mate onderschreven (vraag 33; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5). Overigens zou volgens één respondent een groot aantal andere factoren invloed hebben op het verwerven van kennis en inzicht door leerlingen.

Ook vinden respondenten dat vakkenverbinding gunstig is bij training van algemene vaardigheden, zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen (vraag 34; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5), omdat de docenten van de deelnemende vakken dan dezelfde aanpak hanteren bij deze training. Enkele respondenten zien als bezwaar van een dergelijke aanpak dat de leerlingen, getraind op één strategie, minder flexibel zouden worden.

Respondenten steunen in meerderheid de stelling dat integratie van leerstof vergeleken met een situatie van gescheiden vakken, bij leerlingen leidt tot een betere begripsontwikkeling (vraag 35; 68% kiest schaalwaarde 4 en 5, 26% kiest schaalwaarde 3). Enkele respondenten menen dat een dergelijk effect uit onderzoek zou moeten blijken. Verder wordt ook hier de aandacht gevestigd op het grote aantal andere factoren, dat van invloed is op de begripsontwikkeling bij leerlingen.

Effecten van integratie/samenwerking op docenten

In het algemeen gesproken stemmen de respondenten maar matig in met de stelling dat het gezamenlijk aanbieden van - door deskundigen ontwikkelde - geïntegreerde leerstof, de bereidheid tot veranderingen bij docenten vergroot (vraag 37; 46% kiest schaalwaarde 4 en 5, 31% schaalwaarde 3). Achteraf gezien is de stelling minder gelukkig geformuleerd. Een aantal respondenten merkt dan ook terecht op dat de bereidheid tot verandering bij docenten ten grondslag moet liggen aan vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof en dat de stelling dus ook om te keren is. De stelling dat vakinhoudelijke samenwerking de arbeidssatisfactie van docenten ver-

schreven met het verzoek een vragenlijst (bijlage 3) in te vullen. Deze deskundigen zijn op basis van hun functie verdeeld in twaalf categorieën; negen categorieën hebben betrekking op informanten die ook vragenlijst-1 invulden.

In deze paragraaf duiden we de totale groep respondenten uit de eerste vraagronde aan met de code R93. De in de tweede vraagronde nieuw aangeschreven informanten zijn verdeeld in drie categorieën (tabel 3.8).

Tabel 3.8: Overzicht van categorieën van informanten die in vraagronde-2 nieuw zijn aangeschreven.

SPD Schoolpracticumdocenten biologie, natuurkunde en scheikunde.

D93 Afgestudeerde docenten in opleiding die in 1993 met hun opleiding startten.

D94 Docenten in opleiding, gestart in 1994.

In tabel 3.9 geven we een overzicht van zowel de totale respons als de respons per respondentengroep in vraagronde-2.

Tabel 3.9: Overzicht van de respons in vraagronde-2. VVL: aantal verzonden vragenlijsten; IVL: aantal terugontvangen ingevulde vragenlijsten; AFZ: aantal afzeggingen. De code R93 betreft de totale groep respondenten uit vraagronde-1.

Respondentengroepen	VVL	IVL	AFZ
INS	4	3	1
VAK	12	7	5
NVO	2	0	2
KPC	1	1	0
SLO	6	4	2
CIT	3	2	1
NIB	1	0	1
AVS	3	2	1
STG	2	1	1
Totaal R93	34 100%	20 59%	14 41%
SPD	28	18	10
D93	15	9	6
D94	14	6	8
Totaal	57 100%	33 58%	24 42%
Totaal generaal	91 100%	53 58%	38 42%

Uit tabel 3.9 blijkt dat de percentages ingevulde vragenlijsten van de respondentengroepen behorend tot 'R93' en de overige groepen opvallend gelijk zijn. In totaal werkte 58% van de aangeschrevenen mee. Deze respons ligt duidelijk lager dan bij de

tweede vraagronde in een qua opzet vergelijkbaar Delphi-onderzoek van Koetsier (1991): namelijk 70% van 122 verzonden vragenlijsten. Wij vermoeden dat vooral tijdgebrek en de uitgebreidheid van de vragenlijst een belangrijke rol speelden, gezien het grote aantal respondenten dat niet reageerde op de herinneringsbrief. Een aantal respondenten van groep 'D94' achtte zich volgens hun begeleider niet deskundig wegens gebrek aan praktijkervaring.

Informanten die aan het onderzoek geen medewerking konden verlenen, is verzocht de vragenlijst terug te zenden met opgaaf van redenen. Ongeveer twee maanden na verzending van de vragenlijsten heeft de onderzoeker de informanten die nog niet hadden gereageerd schriftelijk benaderd met het verzoek dit alsnog te doen. Een deel van hen gaf gehoor aan dit verzoek. De aangeschrevenen die niet meewerkten, gaven daarvoor diverse redenen. Drie informanten noemden als reden tijdgebrek, één ziekte en één achtte zich op dit terrein niet deskundig. De meeste informanten reageerden niet op de hen toegezonden herinneringsbrief.

In tabel 3.10 geven we de respons van aangeschrevenen gegroepeerd naar vakachtergrond. Deze vakachtergrond speelt tevens een rol bij de analyse van de door respondenten gekozen schaalwaarden.

Tabel 3.10: Overzicht van respondenten geordend naar vakachtergrond.

Respondentengroepen	R93	SPD	D93	D94	Totaal	%
Biologie	9	15	6	4	34	64
Natuurkunde	3	1	-	-	4	8
Scheikunde	7	2	3	2	14	26
Overig	1	-	-	-	1	2
Totaal	20	18	9	6	53	
%	38	34	17	11	100	100

Opvallend is de sterk ongelijke verdeling van respondenten over de diverse vakken.

Overzicht en analyse van scores

We geven nu een overzicht van de scores van respondenten bij 31 vragen (zie bijlage 3 of gele inlegvel). We merken op dat niet alle respondenten elke vraag hebben beantwoord.

Frequenties van de scores

In tabel 3.11 geven we een overzicht van de frequenties van de door respondenten gekozen schaalwaarden bij de verschillende vragen. De resultaten van de vragen 24 en 25 komen, gezien het afwijkende karakter van deze vragen, aan het eind van deze paragraaf aan de orde.

Tabel 3.11: Overzicht van de frequenties van de door de respondenten op de vijfpuntsschaal gekozen waarden voor de verschillende vragen, de gemiddelde score ($\bar{x}$) en de standaarddeviaties (SD). VNR: vraagnummer. Onder 'Onderwerp' geven we in 'trefwoorden' de essentie van de vragen weer. Zie voor de volledige vragen bijlage 3 of gele inlegvel. Aangezien de in de vragen genoemde vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen was gericht op vakgrensoverschrijdende leerstofelementen, hebben we - waar relevant - de term 'integratie' toegevoegd aan deze verkorte weergave.

Score		1	2	3	4	5	N	$\bar{x}$	SD
VNR	Onderwerp								
6	S.w./integr. en realistisch. onderw.	1	7	7	25	14	54	3.8	1.0
7	Samenw. en training alg. vaard.	-	3	10	17	23	53	4.1	0.9
8	Samenw. ook met andere vakken	2	7	13	19	13	54	3.6	1.1
9	Voll. integr. en identiteitsverlies	4	6	14	20	10	54	3.5	1.1
10	Beperking kortdurende projecten	6	20	4	16	7	53	3.0	1.3
11	Wenselijkheid vakkenverbinding	1	4	5	22	21	53	4.1	1.0
12	Vakkenverb. en identiteitsverlies	1	2	6	24	19	52	4.1	0.9
13	Cultuurversch. tussen doc. nat.w.	4	9	5	22	13	53	3.6	1.2
14	Remmende invl. cultuurversch.	4	23	11	11	4	53	2.8	1.1
15	Ontwikkeling lesmateriaal	1	3	7	18	24	53	4.2	1.0
16	Aandacht voor alg. vaardigh.	1	6	10	15	21	53	3.9	1.1
17	Ontwikkelingen in de Basisvorming	1	3	12	20	16	52	3.9	1.0
18	Onderwijs Algem. Natuurwetensch.	8	14	15	11	4	52	2.8	1.2
19	Nascholing Algem. Natuurwetensch.	2	5	5	17	23	52	4.0	1.1
20	Invoering studielastprincipe	2	8	15	18	10	53	3.5	1.1
21	Dwingend voorschr. samenw.	1	13	9	15	14	52	3.5	1.2
22	Ontwikkeling didactiek samenw.	2	12	15	11	11	51	3.3	1.2
23	S.w./integr. en praktijkvoorb.	1	2	7	19	24	53	4.2	0.9
26	Ontw. lesmat. met docenten nat.w.	2	-	3	16	32	53	4.4	0.9
27	Inschakeling prof. leerstofontw.	3	6	13	16	14	52	3.6	1.2
28	Begripsv. doc. en geschikt lesmat.	1	1	6	21	22	51	4.2	0.9
29	Begripsvorming bij leerlingen	-	2	8	21	22	53	4.2	0.8
30	Contextgebied Gezondh. en Ziekte	3	7	9	20	12	51	3.6	1.2
31	S.w/integr. en systeemscheiding	-	1	4	22	25	52	4.4	0.7
32	Natuurw. denk- en werkwijze	1	5	7	21	18	52	4.0	1.0
33	Complementariteit natuurw. vakken	-	1	4	19	26	50	4.4	0.7
34	Samenw. en training alg. vaard.	-	2	3	24	24	53	4.3	0.8
35	Integratie en begripsontw. leerl.	1	2	14	20	16	53	3.9	0.9
36	Keuze realistische leercontexten	1	1	18	18	15	53	3.8	0.9
37	Veranderingsbereidheid van doc.	8	9	16	15	9	52	3.3	1.1
38	Samenw. en arbeidssatisfactie	2	4	17	25	5	53	3.5	0.9

Gemiddelde keuzepercentages per schaalw. 4% 11% 18% 36% 31% 100%

Uit tabel 3.11 blijkt dat gemiddeld tweederde (67%) van de respondenten heeft gekozen voor de schaalwaarden 4 en 5. Opvallend is het resultaat bij vraag 10, waarbij de respondenten duidelijk wel of niet instemmen met de stelling ten aanzien van de moge-

lijkheden voor projectonderwijs in de nieuwe tweede fase. Van hen kiest namelijk 49% voor de schaalwaarden 1 en 2 en 43% voor de schaalwaarden 4 en 5. Bij deze vraag vinden we dan ook de grootste spreiding, zoals blijkt uit de waarde 1.3 van de standaarddeviatie. Verder valt op dat bij een groot aantal afzonderlijke vragen een hoog percentage van de respondenten gekozen heeft voor de schaalwaarden 4 en 5. De betreffende vragen en de bijbehorende percentages zijn: 6 (79%), 12 (83%), 15 (79%), 23 (81%), 26 (91%), 28 (84%), 29 (81%), 31 (90%), 33 (90%), en 34 (91%).

Gemiddelde scores per respondentengroep

In tabel 3.12 geven we per vraag een overzicht van de gemiddelde scores per respondentengroep. Deze tabel vormde de basis voor verdere analyse van de gegevens.

Uit tabel 3.12 blijkt dat 42% van de gemiddelde scores per vraag (TOT) een waarde heeft van 4.0 of meer en 84% van deze scores een waarde van tenminste 3.5. Van de gemiddelde scores per respondentengroep (RG) heeft 100% een waarde van 3.5 of meer, 73% een waarde van 3.8 of meer en 27% een waarde van tenminste 4.0. De vermelde standaarddeviaties geven een indruk van de mate van spreiding van de scores van respondentengroepen per vraag. Ten slotte bedraagt het totaal generaal gemiddelde (TG) 3.8 met een standaarddeviatie van 0.4.

We concluderen uit deze gegevens dan ook dat de respondenten het in het algemeen eens zijn met de stellingen.

Tabel 3.12: Overzicht van gemiddelde scores op de vijfpuntsschaal per vraag per respondentengroep, de gemiddelde score per respondentengroep (RG), de gemiddelde score per vraag (TOT), de standaarddeviatie (SD) en het totaal generaal gemiddelde (TG). VNR: vraagnummer (zie bijlage 3 of gele inlegvel).

	INS	VAK	KPC	SLO	CIT	AVS	STG	R93	SPD	D93	D94	TOT	SD
N:	3	7	1	4	2	2	1	20	18	10	6	54	
VNR													
6	2.7	3.3	4.0	3.5	3.5	4.0	5.0	3.5	3.8	4.1	4.5	3.8	1.0
7	3.7	3.9	5.0	4.8	4.0	5.0	4.0	4.2	4.3	3.8	3.8	4.1	0.9
8	4.0	3.7	3.0	3.8	3.5	3.5	4.0	3.7	3.7	3.9	2.8	3.6	1.1
9	3.3	3.6	5.0	4.0	4.0	4.5	5.0	3.9	3.6	2.8	2.8	3.5	1.1
10	1.7	3.1	2.0	2.8	2.0	1.5	1.0	2.4	3.5	2.8	3.3	3.0	1.3
11	3.7	3.7	5.0	4.8	4.5	2.5	4.0	4.0	4.4	3.6	4.3	4.1	1.0
12	4.0	4.5	4.0	5.0	2.0	4.0	4.0	4.2	4.2	3.6	4.3	4.1	0.9
13	3.0	3.9	5.0	4.5	4.5	5.0	3.0	4.2	3.6	3.0	2.8	3.6	1.2
14	2.3	2.3	2.0	3.0	2.0	1.5	1.0	2.3	3.3	2.5	3.5	2.8	1.1
15	3.7	4.0	5.0	4.5	5.0	4.5	5.0	4.3	4.0	3.9	4.5	4.2	1.0
16	3.0	3.6	5.0	4.8	4.0	4.0	5.0	4.0	4.2	3.2	4.2	3.9	1.1
17	3.0	3.5	4.0	4.0	3.5	4.0	5.0	3.7	3.9	4.0	4.3	3.9	1.0
18	3.7	3.1	5.0	2.5	3.5	3.0	3.0	3.2	2.6	2.2	2.8	2.8	1.2
19	4.3	3.9	5.0	3.8	5.0	5.0	5.0	4.3	3.8	3.9	4.2	4.0	1.1
20	4.0	3.6	5.0	3.8	4.0	4.5	5.0	4.0	3.2	3.2	3.2	3.5	1.1
21	3.7	4.1	3.0	3.0	2.0	4.5	4.0	3.6	3.5	3.8	3.3	3.5	1.2
22	3.3	2.7	3.0	3.8	2.5	3.0	2.0	3.0	3.7	3.3	3.4	3.3	1.2
23	3.7	4.0	4.0	4.3	4.5	4.0	5.0	4.1	4.4	4.3	3.7	4.2	0.9
26	5.0	4.9	4.0	4.6	5.0	4.5	5.0	4.8	3.9	4.4	4.8	4.4	0.9
27	3.0	3.3	5.0	4.3	4.5	3.5	5.0	3.8	3.8	3.1	3.5	3.6	1.2
28	4.3	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	5.0	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	0.9
29	4.3	3.7	4.0	4.5	4.0	4.0	5.0	4.1	4.2	4.2	4.3	4.2	0.8
30	4.0	2.8	5.0	4.8	3.0	3.5	4.0	3.7	3.6	4.1	3.2	3.6	1.2
31	4.7	4.0	5.0	4.8	5.0	4.0	4.0	4.4	4.4	4.3	4.2	4.4	0.7
32	3.0	2.7	5.0	4.0	3.5	4.5	5.0	3.5	4.3	4.3	4.0	4.0	1.0
33	5.0	3.7	5.0	5.0	4.5	4.0	5.0	4.4	4.5	4.2	4.3	4.4	0.7
34	4.3	3.9	5.0	4.8	4.5	4.0	5.0	4.3	4.5	4.3	3.8	4.3	0.8
35	3.7	3.0	4.0	4.3	4.5	3.5	5.0	3.7	3.8	4.3	4.3	3.9	0.9
36	3.0	4.0	5.0	4.0	3.0	3.5	5.0	3.8	3.7	4.3	3.7	3.8	0.9
37	3.3	3.1	4.0	4.0	3.5	3.5	3.0	3.5	3.4	3.0	3.7	3.3	1.1
38	3.3	3.4	4.0	3.5	3.5	3.0	4.0	3.5	3.5	3.7	3.5	3.5	0.9
RG	3.6	3.6	4.3	4.1	3.8	3.8	4.2	3.9	3.9	3.7	3.8	TG 3.8	0.4

Geschikte onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking

In vraagronde-2 legden we de respondenten een lijst voor van mogelijk geschikte onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking. De in tabel 3.13 opgesomde onderwerpen zijn door de respondenten in vraagronde-1 genoemd als bij uitstek geschikt voor vakinhoudelijke samenwerking. Uit de antwoorden van de respondenten blijkt dat

zij vakinhoudelijke samenwerking vooral betrekken op het aanbieden van geïntegreerde leerstof. De door ons met ‘vakkenverbinding’ aangeduide vorm van vakinhoudelijke samenwerking is in feite een vorm van integratie van leerstofonderdelen (zie tabel 2.5). In tabel 3.13 hebben we de keuzeonderwerpen gerangschikt op grond van het totaal gemiddelde. Bij gelijke waarden hiervan zijn onderwerpen met een lagere standaarddeviatie hoger geplaatst.

Tabel 3.13: Overzicht per respondentengroep van de gemiddelde score, de totaal gemiddelde score ($\bar{x}$) en de standaarddeviatie (SD) betreffende de keuze van onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding.

Respondentengroepen	Gemiddelde score per groep				Totaal		
	R93	SPD	D93	D94	N	$\bar{x}$	SD
Onderwerpen							
Algemene- en onderzoeksvaardigheden	4.6	4.7	4.3	4.8	52	4.6	0.7
Milieu	4.5	4.7	4.6	4.2	53	4.5	0.8
Begrip energie	4.5	4.6	4.2	3.8	53	4.4	0.8
Biochemie	4.2	4.2	4.3	4.5	53	4.2	0.9
Voeding	4.2	4.0	4.0	4.0	53	4.1	0.9
Bodem	4.3	3.9	4.0	4.0	53	4.1	0.9
Biotechnologie	4.2	3.8	4.4	3.8	52	4.1	0.9
Electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransp.	3.9	4.2	4.2	4.3	52	4.1	0.9
Toxicologie	3.9	3.9	4.1	4.3	51	4.0	0.8
Oog	4.2	4.1	3.9	3.2	52	4.0	0.9
Oor	4.0	3.9	3.8	3.2	51	3.9	0.9
Materialen: stevigheid, chemische samenstelling, structuren-bouwelem., mechanica	4.0	3.8	4.0	4.2	53	3.9	0.9
Gezondheid	4.2	3.7	3.7	3.7	52	3.9	1.1
Landbouw	4.1	3.5	4.0	3.5	53	3.8	1.0
Werking van geneesmiddelen	4.0	3.5	4.0	3.8	52	3.8	1.0
Kringlopen	4.3	3.6	3.2	4.0	53	3.8	1.1
Water in levende- en levenloze natuur	4.3	3.6	3.6	3.3	53	3.8	1.1
Fotosynthese	3.7	3.7	3.8	4.2	52	3.8	1.1
Chemische reacties	3.6	3.8	4.2	3.7	53	3.8	1.1
Geschiedenis van de natuurwetenschappen	4.1	3.1	3.9	4.7	52	3.8	1.2
Mechanica en beweging	3.9	3.7	3.9	2.8	53	3.7	1.0
Sport, houding en beweging	3.7	3.7	3.7	2.8	52	3.7	1.1
Oecologie	3.8	3.8	3.1	2.8	52	3.6	1.0
Hart, circulatie	3.6	3.8	3.6	2.8	52	3.6	1.0
Microscopie: optica, cellen	3.6	3.1	3.4	3.5	52	3.4	1.2
Ziekten als aids, kanker, struma, diabetes	3.2	3.2	2.9	3.3	52	3.2	1.1

Uit de totaal gemiddelde scores ($\bar{x}$) in tabel 3.13 blijkt dat slechts de twee laatste onderwerpen lager scoren dan 3.6, namelijk 3.4 en 3.2. Dit betekent overigens dat gemiddeld geen enkel onderwerp scoort in de categorie ‘oneens’. Bij vergelijking van de ge-

middele scores per respondentengroep blijkt dat de onderlinge verschillen in het algemeen niet groot zijn. Een uitzondering hierop vormt de groep 'D94' die een aantal onderwerpen (oog, mechanica en beweging, en hart en circulatie) duidelijk lager waardeert dan de overige groepen. Anderzijds scoort deze groep het hoogst bij onderwerpen als 'biochemie', 'electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransport', 'toxicologie' en 'fotosynthese'. Wellicht houden deze hoge scores voor sterk chemisch getinte onderwerpen verband met tendensen in het huidige wetenschappelijk onderwijs in de biologie. Opvallend is ook de hoge score voor het onderwerp 'geschiedenis van de natuurwetenschappen' in deze groep.

De respondenten noemen in ronde-2 de drie meest geschikte onderwerpen uit tabel 3.13 in volgorde van belangrijkheid. De resultaten daarvan geven we in tabel 3.14.

Tabel 3.14: Rangorde in onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding.

Keuze	Onderwerp 1				Onderwerp 2				Onderwerp 3				Rangorde
	R93	SPD	D93	D94	R93	SPD	D93	D94	R93	SPD	D93	D94	
Onderwerp													
Vaardigheden	9	10	3	2	8			1	2	1	1	1	38
Milieu	4	5		2	3	4	3	2	3	2	1		29
Energie	3			1		6	1			2	1		13
Gezondheid		1	1		2			1	2	2			9
Biotechnologie		1	1		2	1		1		1			7
Chem. reacties	3					1	1			1	1		7
Water	1				4	1							6
Materialen	1		1			1			1			1	5
Electriciteit	1	1								2			4
Landbouw	1		1							1			3
Voeding				1			1						2
Oog			1										1
Biochemie						1	1		3	1		1	7
Sport					1	2			1	2	1		7
Gesch.nat.wet.								1	2	1	1	1	6
Kringlopen					3				2			1	6
Bodem									3		1	1	5
Geneesm.						1							1
Oor							1						1
Fotosynthese										1	1		2
Oecologie										2			2
Hart en circulatie.									1				1

Opvallend in tabel 3.14 is dat de onderwerpen 'algemene- en onderzoeksvaardigheden'

en 'milieu' veel hoger scoren dan de overige. Wanneer we deze tabel vergelijken met tabel 3.13 dan blijkt dat onderwerpen die als eerste keus worden genoemd, grotendeels een gemiddelde score hebben van tenminste 4.0.

3.5.3 Kwalitatieve resultaten van het specifieke deel van vraagronde-2

In deze paragraaf geven we de essentie weer van de toelichtingen en opmerkingen van de respondenten zoals die per vraag zijn samengevat in het verslag van vraagronde-2 (Beeftink, Koetsier & Voogt, 1995; zie ook bijlage 5). We ordenen de verkregen gegevens aan de hand van de deelvragen van onderzoeksvraag B en een toegevoegde deelonderzoeksvraag (§ 3.4). Bij het beantwoorden van de deelonderzoeksvragen noemen we ook enkele kwantitatieve gegevens, namelijk de keuze van respondenten voor bepaalde schaalwaarden (in tabel 3.11). Voor wat betreft de vragen verwijzen we naar bijlage 3 of het gele inlegvel.

Welke vormen van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Uit de resultaten van vraagronde-1 bleek dat respondenten geen of nauwelijks mogelijkheden zien voor volledige integratie van de natuurwetenschappelijke vakken in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Ten aanzien van de stelling uit vraagronde-2: 'Volledige integratie leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken' (vraag 9) zijn de respondenten verdeeld (56% kiest schaalwaarde 4 en 5, 26% kiest schaalwaarde 3). Terwijl het merendeel van de respondenten met deze stelling instemt, zijn met name de - meer multidisciplinair opgeleide - docenten in opleiding ('D93' en 'D94') het hier niet mee eens. Sommige respondenten zijn van mening dat identiteitsverlies mogelijk kan optreden, maar vinden dit geen probleem, omdat zij de huidige vakkenscheiding kunstmatig vinden.

De respondenten vinden integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding zeer gewenst bij het aan de orde stellen van bepaalde vakgrensoverschrijdende leerstofonderdelen (vraag 11; 81% kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij zien met name mogelijkheden bij invoering van het studiehuisconcept in de bovenbouw. De respondenten in vraagronde-2 stemmen in het algemeen wel in met de stelling dat vakkenverbinding niet leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken (vraag 12; 83% kiest schaalwaarde 4 en 5). Overigens ziet een aantal respondenten identiteitsverlies niet als een probleem. Zij menen dat leerlingen voor vakspecifieke informatie toch altijd terug moeten vallen op het betreffende vak.

De stelling dat het in de toekomst organiseren in de bovenbouw van kortdurende projecten met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen maar zeer beperkt mogelijk is, leidt tot een duidelijke tweedeling in stellingname van de respondenten (vraag 10; 49% kiest schaalwaarde 1 en 2, 43% schaalwaarde 4 en 5). De respondenten die niet instemmen met het gestelde, vinden dat er met creativiteit en de goede wil van docenten veel mogelijk is op het gebied van projectonderwijs en dat invoering van 'het studie-

huis' in de tweede fase voortgezet onderwijs hiertoe ook een positieve bijdrage kan leveren.

Het vervolg van deze paragraaf gaat vrijwel uitsluitend over integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken in de vorm van vakkenverbinding en - waar van toepassing - de daarbijbehorende samenwerking tussen docenten, kortweg aangeduid met 'vakkenverbinding'. De meningen van deskundigen over aspecten van vakkenverbinding hebben tevens betrekking op een gezamenlijk project. Vakkenverbinding is namelijk te beschouwen als een wat meer gespreid project, waarbij er - in tegenstelling tot bij een gezamenlijk project - nog geen sprake is van gemeenschappelijke doelstellingen.

Welke onderwerpen voor integratie/samenwerking noemen deskundigen?

In vraagronde-2 legden we de respondenten een lijst van onderwerpen voor die door respondenten uit vraagronde-1 geschikt werden geacht voor integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding. De respondenten uit vraagronde-2 vonden vrijwel al deze onderwerpen geschikt voor vakkenverbinding. Hoewel er bij respondenten in vraagronde-2 duidelijke verschillen bestaan in waardering ten aanzien van de diverse onderwerpen, is het opvallend dat geen enkel onderwerp uit de voorgelegde lijst - gezien de totaal gemiddelde scores - in de categorie 'oneens' valt (§ 3.5.2, tabel 3.13). Enkele respondenten merken op dat thema's als 'gezondheid', 'voeding' en 'milieu' het beste aansluiten bij de denk- en leefwereld van leerlingen. Zij vinden het belangrijk binnen het thema 'gezondheid' ook onderwerpen als ziekten en toxicologie ter sprake te brengen. Voorts vinden zij het gewenst onderwerpen in een historische context te plaatsen. Volgens een aantal respondenten zijn er ook onderwerpen uit de lijst waarbij integratie van leerstof vooral tot zijn recht komt bij twee in plaats van drie hierbij betrokken natuurwetenschappelijke vakken. Zij noemen daarbij onderwerpen als 'biochemie' en 'chemische reacties' (met biologie en scheikunde) en 'oog' en 'oor' (biologie met natuurkunde). Respondenten vinden een aantal onderwerpen niet scherp genoeg afgebakend, waardoor sommige voor vakkenverbinding meer of minder geschikte mogelijkheden door hen niet nader konden worden aangeduid. Een aantal respondenten meent dat het item 'algemene- en onderzoeksvaardigheden' niet beschouwd moet worden als een onderwerp maar als een werkvorm c.q. didactiek.

Welke effecten van integratie/samenwerking noemen deskundigen?

Effecten van integratie/samenwerking op leerlingen

De meeste respondenten beschouwen integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding en vakinhoudelijke samenwerking, in het algemeen als belangrijk en als een brug naar realistisch onderwijs (vraag 6; 72% kiest schaalwaarde 4 en 5), omdat voorbeelden uit de dagelijkse praktijk vaak een interdisciplinair karakter hebben.

Respondenten steunen de stelling dat het integreren van leerstof de systeemscheiding tussen de verschillende vakdisciplines doorbreekt (vraag 31; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5). Enkele respondenten maken kanttekeningen bij deze stelling. Zij menen dat het doorbreken van systeemscheiding juist leidt tot minder inzicht van leerlingen in de afzonderlijke vakken en tot achteruitgang in kritisch denken.

Ook de stelling dat vakkenverbinding tot een beter beeld leidt van de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze, wordt door de meeste respondenten gesteund (vraag 32; 75% kiest schaalwaarde 4 en 5). Een aantal respondenten stemt niet in met de stelling. Zij noemen als argumenten daarvoor onder meer dat dit effect te zeer afhankelijk is van de kwaliteit van de docenten en dat de denk- en werkwijze bij de natuurwetenschappen niet afwijkt van die bij andere vakken. Eén respondent stelt dat *de* natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze niet bestaat, omdat de bij de natuurwetenschappelijke vakken gebruikte - vaak sterk verwante - methodieken in een vakspecifieke context betekenis krijgen.

De stelling dat vakkenverbinding leidt tot beter inzicht in de gemeenschappelijke aspecten (de complementariteit) van de wetenschappelijke denk- en werkwijze in de afzonderlijke natuurwetenschappen, wordt door respondenten in zeer ruime mate onderschreven (vraag 33; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5). Overigens zou volgens één respondent een groot aantal andere factoren invloed hebben op het verwerven van kennis en inzicht door leerlingen.

Ook vinden respondenten dat vakkenverbinding gunstig is bij training van algemene vaardigheden, zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen (vraag 34; 90% kiest schaalwaarde 4 en 5), omdat de docenten van de deelnemende vakken dan dezelfde aanpak hanteren bij deze training. Enkele respondenten zien als bezwaar van een dergelijke aanpak dat de leerlingen, getraind op één strategie, minder flexibel zouden worden.

Respondenten steunen in meerderheid de stelling dat integratie van leerstof vergeleken met een situatie van gescheiden vakken, bij leerlingen leidt tot een betere begripsontwikkeling (vraag 35; 68% kiest schaalwaarde 4 en 5, 26% kiest schaalwaarde 3). Enkele respondenten menen dat een dergelijk effect uit onderzoek zou moeten blijken. Verder wordt ook hier de aandacht gevestigd op het grote aantal andere factoren, dat van invloed is op de begripsontwikkeling bij leerlingen.

Effecten van integratie/samenwerking op docenten

In het algemeen gesproken stemmen de respondenten maar matig in met de stelling dat het gezamenlijk aanbieden van - door deskundigen ontwikkelde - geïntegreerde leerstof, de bereidheid tot veranderingen bij docenten vergroot (vraag 37; 46% kiest schaalwaarde 4 en 5, 31% schaalwaarde 3). Achteraf gezien is de stelling minder gelukkig geformuleerd. Een aantal respondenten merkt dan ook terecht op dat de bereidheid tot verandering bij docenten ten grondslag moet liggen aan vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof en dat de stelling dus ook om te keren is. De stelling dat vakinhoudelijke samenwerking de arbeidssatisfactie van docenten ver-

hoogt, wordt door ruim de helft van de respondenten gesteund. Vrij veel repondenten nemen een meer neutraal standpunt in (vraag 38; 56% kiest schaalwaarde 4 en 5, 31% schaalwaarde 3). Volgens de laatstgenoemden zullen docenten, na acceptatie van veranderingen, gestimuleerd worden tot nieuwe uitdagingen. Dit zou kunnen leiden tot meer werkplezier bij henzelf en bij hun leerlingen. Ook hier wijzen enkele respondenten erop dat de stelling omkeerbaar is: wie openstaat voor integratie/samenwerking, geniet van de effecten. Voorts wijzen sommige respondenten op de grote investering van tijd en op negatieve effecten van eventuele externe dwang. Enkele respondenten vermoeden slechts effecten op korte termijn, omdat elke verandering ook weer leidt tot gewoontevorming.

Docenten beantwoorden de vraag of vakkenverbinding het kiezen van realistischer leercontexten bevordert, niet unaniem bevestigend (vraag 36; 62% kiest schaalwaarde 4 en 5, 34% kiest schaalwaarde 3).

De mogelijkheid dat het gebruik van geschikt lesmateriaal over onderwerpen met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen begripvorming bij docenten bevordert, wordt door respondenten zeer positief beoordeeld (vraag 28; 84% kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij menen dat docenten hiermee meer zicht krijgen op andere disciplines en dat daardoor hun blik wordt verruimd. Verder beschouwen zij een uitstralend effect van de begripontwikkeling bij docenten op die van leerlingen als min of meer vanzelfsprekend (vraag 29; 84% kiest schaalwaarde 4 en 5). Respondenten merken op dat de vakbekwaamheid en de motivatie van de docent een zeer grote invloed heeft op leerlingen en dat docenten bij wie de genoemde begripontwikkeling tot stand kwam, eerder begripsproblemen bij leerlingen op het spoor komen. Van belang vinden zij verder dat de docent de stof goed beheerst en in context kan plaatsen. Enkele respondenten zien overigens geen oorzakelijk verband tussen bevordering van begripontwikkeling bij docenten en bij de leerlingen.

Welke integratie/samenwerking beïnvloedende factoren noemen deskundigen?

Afgezien van de medewerkers van de inspectie die een wat neutraler standpunt innemen, zijn de respondenten het in het algemeen eens met de stelling dat de lopende ontwikkelingen in de basisvorming integratie van leerstof in de bovenbouw zullen bevorderen (vraag 17; 69% kiest schaalwaarde 4 en 5). Enkele respondenten merken overigens op dat de integratie en vakinhoudelijke samenwerking in de basisvorming maar langzaam op gang komt en dat bijvoorbeeld het vak natuur- en scheikunde nog vaak gescheiden wordt gegeven.

Respondenten vinden het ontwikkelen van interdisciplinaire leerstofeenheden belangrijk (vraag 15; 79% kiest schaalwaarde 4 en 5). In dit verband hechten zij vooral waarde aan een stimulerend schoolklimaat. Een aantal docenten merkt op dat docenten in het algemeen geen tijd hebben voor het ontwikkelen van lesmateriaal. Zij verwachten dat het beschikbaar stellen van geïntegreerd lesmateriaal een stimulans zal zijn voor integratie/samenwerking.

Volgens respondenten zou meer aandacht voor onderzoeks- en algemene vaardigheden - zoals probleemoplossingsvaardigheden - integratie/samenwerking bevorderen (vraag 16; 60% kiest schaalwaarde 4 en 5).

Respondenten vinden dat nascholing van toekomstige docenten voor het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' onontbeerlijk is (vraag 19; 75 % kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij wijzen erop dat nascholing stimulerend kan werken en een bijdrage kan leveren aan het opheffen van 'schotjesdenken'. Deze nascholing is overigens gestart in het cursusjaar 1997-1998.

Enkele stellingen vinden weinig steun bij de respondenten in vraagronde-2.

De meerderheid van de respondenten meent wel dat er cultuurverschillen bestaan tussen docenten van de verschillende natuurwetenschappelijke vakken (vraag 13; 66% kiest schaalwaarde 4 en 5). Dit geldt minder voor de respondentengroepen 'D93' en 'D94', waarschijnlijk vanwege hun meer interdisciplinaire opleiding. Sommige respondenten menen dat deze verschillen meer persoons- dan vakgebonden zijn.

Respondenten zijn het echter niet eens met de stelling dat genoemde cultuurverschillen geen remmende invloed op samenwerking hebben (vraag 14; 50% kiest schaalwaarde 1 en 2, 21% schaalwaarde 3). Zij zien dus in het algemeen cultuurverschillen wel degelijk als een remmende factor. Deze remmende invloed zou volgens hen kunnen worden verminderd als de cultuurverschillen bespreekbaar en zichtbaar zouden worden gemaakt.

De stelling dat het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' bij voorkeur door één docent gegeven moet worden wordt niet gesteund (vraag 18; 42% kiest schaalwaarde 1 en 2, 29% schaalwaarde 3). Volgens respondenten wordt het geven van 'Algemene Natuurwetenschappen' door één docent problematischer naarmate het leerstofniveau hoger is. Onderwijs door meer docenten gaat volgens respondenten uit de groepen D93 en D94 gepaard met meer standpunten c.q. visies, waardoor problemen van diverse kanten worden belicht en er minder gevaar bestaat voor persoonlijke inkleuring van het vak. Respondenten die instemmen met de stelling, zien onder meer als voordeel het bevorderen van een eenduidig gebruik van begrippen.

Over de stelling dat invoering van het studielastprincipe in de tweede fase voortgezet onderwijs meer mogelijkheden biedt voor het integreren van leerstof in de vorm van vakkenverbinding zijn de meningen van respondenten verdeeld (vraag 20; 54% kiest schaalwaarde 4 en 5, 28% schaalwaarde 3). Realisatie van het 'studiehuis' in de tweede fase voortgezet onderwijs biedt volgens sommige respondenten meer gelegenheid om met modulen en blokken te werken, waarbinnen projectwerk mogelijk is. Overigens zijn er volgens anderen - bij voldoende motivatie van docenten - ook binnen het huidige wettelijke kader voldoende mogelijkheden voor vakkenverbinding. Ten slotte merken enkele respondenten op dat een flexibele schoolorganisatie op zich nog geen inhoudelijke verandering teweeg hoeft te brengen.

De meeste respondenten vinden het dwingend voorschrijven van vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof in de vorm van vakkenverbinding niet raad-

zaam. Onder de respondenten is echter wel sprake van een zekere verdeeldheid (vraag 21; 56% kiest schaalwaarde 4 en 5). Een aantal van hen is van mening dat externe dwang meestal geen effect heeft en dat overtuigen en eventueel enige sturing meer kans op succes zal hebben. Andere respondenten daarentegen menen dat de gemiddelde docent niet geneigd is zijn lessen ingrijpend te wijzigen en dat daarom niet te ontkomen is aan dwingende voorschriften.

Welke mening hebben deskundigen over de wenselijkheid en de wijze van het ontwikkelen van lesmateriaal voor integratie/samenwerking?

Respondenten zijn van mening dat lesmateriaal met vakgrensoverschrijdende leerstof-elementen moet voldoen aan bepaalde criteria om geschikt te zijn als object voor integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking. Zo steunen zij in ruime mate de stelling dat dergelijke leerstofelementen aangeboden moeten worden in thema's die gekoppeld worden aan voorbeelden uit de dagelijkse praktijk die voor de lerende van persoonlijk en/of maatschappelijk belang (kunnen) zijn (vraag 23; 81% kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij merken overigens op dat de stelling ook geldt voor niet-vakgrensoverschrijdende leerstof en dat in feite niets onderwezen mag worden zonder aan dit principe te voldoen. De in de stelling genoemde koppeling tussen gekozen thema's en voorbeelden uit de praktijk van alledag zou volgens enkele respondenten leerlingen veel meer aanspreken, hun motivatie doen toenemen en hun inzicht vergroten.

Over het nut van inschakeling van docenten bij het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal voor onderwerpen met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen zijn respondenten het wel eens (vraag 26; 91% kiest schaalwaarde 4 en 5). Zij vinden het ontwikkelen van lesmateriaal zonder docenten - als gebruikers - ondenkbaar. Docenten kunnen volgens hen op diverse manieren participeren in het ontwikkelen van lesmateriaal bijvoorbeeld als schrijver, ontwerper of als degene die het materiaal in de klas toetst. Respondenten noemen in dit verband als remmende factor vooral de grote werkdruk van docenten. Zij geven dan ook aan dat docenten gebruik zouden kunnen maken van materiaal dat bijvoorbeeld is ontwikkeld door de SLO of in het kader van het project NME-VO.

De meningen van respondenten zijn wat meer verdeeld over de stelling dat het inschakelen van professionele leerstofontwikkelaars samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen bevordert (vraag 27; 58% kiest schaalwaarde 4 en 5, 25% kiest schaalwaarde 3). Een aantal van hen betwijfelt de affiniteit van leerstofontwikkelaars tot de dagelijkse praktijk.

Het betrekken van andere vakken bij de integratie/samenwerking tussen de natuurwetenschappen

De stelling dat het betrekken van andere vakken bij de samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen wenselijk is (vraag 8), heeft duidelijk minder instemming

van de respondenten (59% kiest schaalwaarde 4 en 5, 24% schaalwaarde 3). Een aantal respondenten vindt dat de wenselijkheid van het betrekken van andere vakken bij de samenwerking tussen de natuurwetenschappen sterk afhankelijk is van de gekozen thema's. Overigens vinden sommige respondenten dat eerst de samenwerking tussen de natuurwetenschappen goed op gang moet komen alvorens daar andere vakken bij te betrekken.

3.6 Samenvatting van het voorgaande en terugblik op de uitvoering van het Delphi-onderzoek

3.6.1 Samenvatting van het voorgaande

In hoofdstuk 1 constateerden we dat de bioloog moet beschikken over fysische en chemische kennis. Gezien zijn opleiding zal de bioloog echter onvoldoende beschikken over (zeer) specialistische fysisch-chemische kennis noodzakelijk bij het onderzoek van bepaalde subsystemen van organismen. Samenwerking met fysici en chemici is dan noodzakelijk. Dit gegeven sluit aan bij tendensen in onze samenleving. Door de sterk toegenomen complexiteit van de samenleving moeten beroepsbeoefenaren zich steeds meer gaan specialiseren, waardoor hun onderlinge afhankelijkheid toeneemt. Als gevolg hiervan is samenwerking, teamvorming onontkoombaar. Ook leerlingen moeten in opvoeding en onderwijs worden voorbereid op hun toekomstige rol als burger en beroepsbeoefenaar. Leren samenwerken is voor hen onontbeerlijk. Leerlingen kunnen dit leren door bijvoorbeeld samen te werken in een project, met groepswork als werkvorm. Een gezamenlijk project van docenten in de natuurwetenschappen bevat veelal geïntegreerde (leer)inhouden en vaardigheden afkomstig uit tenminste twee van de drie natuurwetenschappen. Het goed opzetten van een dergelijk geïntegreerd project vereist vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

Uit de in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur beschreven praktijkvoorbeelden van integratie blijkt dat volledige integratie van leerstofonderdelen mogelijk is. We wezen erop dat deze integratie gerealiseerd kon worden als gevolg van bijzondere factoren in de randvoorwaardelijke sfeer van de betrokken scholen. Het merendeel van de respondenten in het Delphi-onderzoek acht volledige integratie van vakken in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs geen reële optie. Naar hun mening stuit in de praktijk volledige integratie op problemen vanwege het niveau van de examens en de op gescheiden vakken toegesneden examenprogramma's en de monodisciplinaire opleiding van leraren. Enkele respondenten menen dat niet zozeer het niveau van de examens een remmende factor voor volledige integratie is, maar veeleer de grote hoeveelheid examenstof en het - inmiddels achterhaalde - systeem van vrije vakkenpakketkeuze.

Respondenten die meer integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking ge-

wenst achten, hebben hiervoor diverse motieven, namelijk: er dient binnen de natuurwetenschappen meer aandacht te komen voor toepassingen en maatschappelijke aspecten van de natuurwetenschappen; leerlingen moeten vaak vakinhoudelijke kennis geïntegreerd gebruiken in leef- en beroepssituaties; integratie van een aantal kennisgebieden is zeer goed mogelijk; en geavanceerd wetenschappelijk onderzoek heeft vaak een interdisciplinair karakter.

Respondenten achten 'vakkenverbinding' en een 'gezamenlijk project' van beperkte duur gewenst en haalbaar in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. Zij verwachten van deze vormen van vakinhoudelijke samenwerking en integratie een aantal gunstige effecten, zoals een betere mogelijkheid om aan te sluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen, een toename van motivatie bij docenten en leerlingen, het bevorderen van begripsontwikkeling bij docenten en daardoor ook bij leerlingen en het verminderen van systeemscheiding. Voorts vinden respondenten dat vakkenverbinding een gunstig effect op leerlingen kan hebben bij training van algemene vaardigheden, onder meer bij probleemoplossen. We menen dat het bevorderen van probleemoplossingsvaardigheden bij leerlingen belangrijk is, met name in het kader van probleemgestuurd leren. Probleemgestuurd leren met behulp van probleemtaken is een beproefde didactische benadering, die naar onze mening goed aansluit bij het studiehuisconcept in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs.

Respondenten geven wel aan dat er ten aanzien van vakkenverbinding en gezamenlijke projecten remmende factoren zijn. Zo wijzen zij op de vrije vakkenpakketkeuze. Deze is echter met de inmiddels ingevoerde doorstroomprofielen in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs niet meer mogelijk. Voorts noemen respondenten als remmende factor cultuurverschillen tussen docenten in de natuurwetenschappen en het ontbreken van een sfeer van vernieuwingsgezindheid in de school. Hoewel de meerderheid van respondenten meent dat er cultuurverschillen bestaan tussen docenten van de verschillende natuurwetenschappelijke vakken en dat deze een remmende invloed op samenwerking hebben, geldt dit minder voor recent opgeleide docenten. Tevens geven sommige respondenten aan dat de genoemde verschillen meer persoons- dan vakgebonden zijn. In de toekomst zal de veronderstelde remmende invloed van cultuurverschillen waarschijnlijk afnemen. Cultuurverschillen zullen ook meer bespreekbaar worden doordat docenten van diverse secties op verscheidene scholen al samenwerken in het kader van - vakoverstijgende - algemene vaardigheden. Ten aanzien van het verminderen van deze cultuurverschillen verwachten we ook een positief effect van de nascholing van docenten 'Algemene Natuurwetenschappen', een vak dat volgens respondenten vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de nieuwe tweede fase kan stimuleren. Deze stimulans verwachten zij ook van ontwikkelingen met betrekking tot samenwerking in de basisvorming. Samenwerking en integratie zijn in de basisvorming namelijk volop in ontwikkeling. Dit gegeven kan een gunstige invloed hebben op samenwerking en integratie in de tweede fase voortgezet onderwijs.

Verscheidene uitkomsten van het Delphi-onderzoek komen overeen met resultaten van de literatuurstudie. Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt onder meer de positieve invloed van integratie van leerstof op de motivatie en de begripsvorming van leerlingen. Bovendien wordt in deze literatuur gewezen op de betere aansluiting van een geïntegreerd leerstofaanbod bij de leef- en ervaringswereld van leerlingen, op het belang van het kiezen van maatschappelijk relevante thema's, en op de betekenis van het betrekken van docenten bij de ontwikkeling van geïntegreerde leerstof. Uit de wetenschappelijke literatuur komt ook naar voren dat een aantal auteurs volledige integratie in de bovenbouw niet gewenst vindt. Verder wordt in deze literatuur gewezen op integratie remmende factoren zoals het ontbreken van geïntegreerd lesmateriaal, de er niet op ingestelde inrichting van het onderwijs, de monodisciplinaire opleiding van docenten en op het gegeven dat sommige docenten er de voorkeur aan geven om de vakken in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs gescheiden aan te bieden.

3.6.2 Terugblik op de uitvoering van het Delphi-onderzoek

De samenstelling van het panel van deskundigen in vraagronde-1 van de Delphi-studie was achteraf gezien niet geheel correct. In deze ronde maakte de sector van ervaren docenten in de natuurwetenschappen namelijk geen deel uit van het panel. Voor wat betreft het verkrijgen van informatie over het voorkomen in Nederland van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking was dit geen bezwaar, omdat we tijdens de literatuurstudie de deskundigen werkzaam in de onderwijspraktijk hierover al hadden bevraagd via mondelinge en schriftelijke oproepen (zie § 2.2 en bijlage 1). Wat betreft de meningen en verwachtingen van de geraadpleegde deskundigen ten aanzien van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking, zou echter de inschakeling in vraagronde-1 van ervaren docenten uit de onderwijspraktijk mogelijk een genuanceerder beeld hebben kunnen geven van de opbrengsten hiervan. In vraagronde-2 van deze studie hebben we wel ervaren docenten in de natuurwetenschappen ingeschakeld (zie § 3.4). Op basis van de uitkomsten van vraagronde-1 formuleerden we vragen/stellingen over vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof voor vraagronde-2 naar analogie van die uit de eerste ronde. De reacties van de geraadpleegde docenten in de natuurwetenschappen weken in het algemeen niet af van die van de overige respondenten. We concluderen dan ook dat de bovengenoemde omissie geen consequenties heeft gehad voor de uitkomsten van de Delphi-studie.

Voorts rijst ten aanzien van de opzet van de Delphi-studie de vraag of de keuze niet even goed had kunnen vallen op de 'real time' methode (conferentievorm) in plaats van op de 'conventionele' methode met behulp van vragenlijsten (zie § 3.2). We motiveerden de keuze voor de conventionele Delphi-werkwijze onder meer met het argument dat op die manier de sociale druk - bij het confronteren van tegengestelde uitspraken met elkaar - minimaal zou zijn. Achteraf bleek dat er niet of nauwelijks sprake was van tegengestelde meningen bij de respondenten. In vraagronde-2 van het Delphi-onderzoek blijkt namelijk uit de gemiddelde scores per respondentengroep (tabel 3.12,

RG) dat er geen sprake is van (sterk) controversiële standpunten van respondenten ten aanzien van de gepresenteerde stellingen. De discrepantie die we in vraagronde-1 (tabel 3.5, RG) aantreffen tussen de respondentengroepen 'CITO' (CIT) en - in mindere mate - 'NIBI' (NIB), vonden we in tabel 3.12 (RG) uit vraagronde-2 niet terug. De verklaring hiervoor is dat de vertegenwoordiger van het NIBI en één van de vertegenwoordigers van het CITO - welke bij een aantal stellingen een sterk afwijkend standpunt innamen - niet deelnamen aan vraagronde-2.

Binnen de respondentengroep 'CITO' (CIT) werd in de eerste vraagronde de grootste discrepantie tussen de individuele gemiddelde scores van de respondenten aangetroffen, namelijk 2.4. Deze discrepantie kwam tot stand als gevolg van de sterk afwijkende scores van één respondent. Deze was van mening dat integratie/samenwerking vooral vorm zal moeten krijgen binnen het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en niet binnen de doorstroomprofielen, teneinde de identiteit van de afzonderlijke vakken te waarborgen. Bij de overige respondentengroepen varieert de discrepantie tussen de individuele gemiddelde scores van deelnemers van 0.3 tot 0.7.

De respondentengroep 'NIBI' (NIB) was in de eerste vraagronde slechts vertegenwoordigd door één respondent, welke bij enkele vragen een zeer lage score noteerde. Deze respondent is onder meer een tegenstander van het stimuleren van integratie/samenwerking door maatregelen 'van bovenaf', zoals dwingende voorschriften in het eindexamenprogramma.

Toch vinden we de keuze voor de conventionele methode met behulp van vragenlijsten nog steeds juist, omdat vooraf niet kon worden geweten dat er nauwelijks sprake zou zijn van tegengestelde meningen bij de respondenten. Bovendien stelde deze methode ons in staat een groot aantal informanten te bevragen over een uitgebreid scala van onderwerpen, zonder van hen een al te grote tijdsinvestering te eisen. In vraagronde-1 schreven we 52 informanten aan waarvan er 34 reageerden. In vraagronde-2 benaderden we naast de 34 respondenten uit de eerste ronde nog eens 57 andere informanten, waarvan er 33 reageerden. Het aantal vragen bedroeg in de eerste ronde 22 en in de tweede ronde 38. Als gevolg van de keuze voor de conventionele Delphi-methode konden we beschikken over de individuele scores van de respondenten op de gestelde vragen. Mede hierdoor werd een kwantitatieve analyse van de uitkomsten mogelijk. We achten het niet waarschijnlijk dat we in een conferentievorm zoveel deelnemers over zoveel aspecten van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen hadden kunnen bevragen, nog afgezien van de kosten voor extra mankracht en reiskosten van deelnemers, en de vraag of één bijeenkomst voldoende zou zijn geweest enzovoort. We worden in deze opvatting onder meer gesteund door Eijkelhof (1990), die in zijn onderzoek - afgezien vanwege mogelijk controversiële aspecten - ook voor deze methode koos, omdat hij een groot aantal experts wilde raadplegen wier tijd ook beperkt was. Daarnaast ging ook hij ervan uit dat één contact met de te raadplegen experts niet toereikend zou zijn. Zijn keuze viel dan ook op de conventionele Delphi-methode, omdat hij - evenals in ons geval - meer dan eens in contact wilde treden met een relatief groot aantal respondenten waarbij van

de participanten een beperkte tijdsinvestering werd gevraagd en tevens hun anonimiteit werd gewaarborgd (zie eveneens Koetsier & Ten Brinke, 1985).

3.7 Consequenties voor het vervolgonderzoek

In § 3.7.1 motiveren we de keuze voor het ontwikkelen van een ontwerp van geïntegreerde leerstof als handreiking voor docenten en in § 3.7.2 komt de themakeuze voor dit ontwerp ter sprake. Om na te gaan op welke wijze de motivatie van docenten kan worden bevorderd om in de toekomst zelf geïntegreerde leerstof aan te bieden c.q. deel te nemen aan het ontwikkelen daarvan, geven we in § 3.7.3 een model voor gedragsbeïnvloeding. In § 3.7.4 relateren we de tot nu toe verkregen uitkomsten van het onderzoek aan dit model.

3.7.1 Een handreiking voor docenten

Een belangrijke integratie/samenwerkingremmende factor is naar onze mening tijdgebrek van docenten. Ook respondenten uit het Delphi-onderzoek wijzen hierop. Scholen zullen in het algemeen niet in staat zijn extra faciliteiten te bieden aan docenten in de natuurwetenschappen die gezamenlijk geïntegreerde leerstof willen ontwikkelen. We vermoeden dat docenten zonder externe deskundige hulp een dergelijke taak nauwelijks op zich kunnen nemen. Omdat respondenten aangaven dat zij het aanbieden van geïntegreerde leerstof, bijvoorbeeld in de vorm van gezamenlijke projecten wenselijk vinden en dat zij hiervan een aantal gunstige effecten verwachten, leek het ons zinvol hen een handreiking te bieden.

Hulp bieden op macroniveau behoort niet tot onze mogelijkheden. Op dit niveau stuurt de overheid het onderwijs, onder meer door vaststelling van eindtermen voor de examens met de daaraan verbonden consequenties voor de leer- en examenprogramma's. Ook factoren op mesoniveau zijn niet of nauwelijks door ons te beïnvloeden. Zo is de samenstelling van de leerlingenpopulatie en het docententeam van een concrete school een gegeven. Dit geldt ook voor de invulling van de basisvorming door een school. Daarbij kunnen we denken aan de mate waarin vakkenintegratie heeft plaats gevonden en de eventuele uitstralende invloed hiervan op de nieuwe tweede fase. Een andere factor op mesoniveau is de beschikbaarheid van hulpmiddelen. In het kader van een didactiek die leerlingen zelf laat werken met informatiebronnen is het van belang dat dergelijke bronnen ruim voorhanden zijn, bijvoorbeeld in de vorm van een bibliotheek, een mediatheek en computers met voldoende software.

Resteert het microniveau. Een uiterst belangrijke factor op microniveau is de beschikbaarheid van adequate leermiddelen. De afhankelijkheid van docenten van leermiddelen in het onderwijs is groot. Een probleem hierbij is volgens Bollen (1995) dat uitgevers commerciële instellingen zijn die vooral op 'de grote middenmoot' zullen mikken. Hij wijst erop dat scholen ruwweg volgens de kromme van Gauss kunnen worden

verdeeld in conservatieve, traditionele en progressieve scholen. Als deze indeling een weerspiegeling is van de mate waarin de cultuuromslag naar zelfstandig leren wordt opgepakt, dan zullen uitgeverijen volgens Bollen allereerst methoden ontwikkelen waarin weliswaar de nieuwe leer- en examenprogramma's zijn verwerkt, maar ze zullen didactisch geen al te grote sprongen maken. Nieuwe methoden zullen daarom geen krachtige impulsen geven om de didactische aanpak te veranderen, maar hoogstens aanzetten daartoe. Dat betekent dat de docent vanuit de zo belangrijke leermiddelen maar beperkt zal worden gesteund bij het ontwikkelen van een andere didactiek (Bollen, 1995).

Het leek ons daarom zinvol om docenten in de natuurwetenschappen een handreiking te bieden in de vorm van een leerstofontwerp met accent op interdisciplinariteit en een activerende didactiek, dat inspeelt op deze ontwikkeling.

3.7.2 Keuze van een thema voor het leerstofontwerp

Bij de keuze van een thema voor een ontwerp van geïntegreerde leerstof ten behoeve van de praktijkstudie, baseerden we ons op resultaten in de rangordetabel 3.14 uit het Delphi-onderzoek, aangevuld met andere gegevens uit het Delphi-onderzoek; gegevens uit de huidige examenprogramma's en leerboeken; gegevens met betrekking tot toekomstige onderwijsontwikkelingen; en gegevens over toenemende belangstelling voor gezondheidsvraagstukken.

Enkele onderwerpen uit de rangordetabel met een hoge waardering van de respondenten komen niet in aanmerking voor de praktijkstudie. Omdat het doel van de praktijkstudie ontwikkeling van geïntegreerde leerstof betreft, is het onderwerp 'algemene en onderzoeksvaardigheden' dat de hoogste waardering krijgt van respondenten niet geschikt als object voor de praktijkstudie. Respondenten merken trouwens ook op dat 'algemene- en onderzoeksvaardigheden' eigenlijk geen onderwerp is, maar een proces - een werkvorm of didactiek - dat door alle onderwerpen heen loopt. Wel kunnen - ons inziens - aspecten van deze vaardigheden aan de orde komen bij de didactische uitwerking van het leerstofontwerp.

Ook het onderwerp 'milieu' - het tweede onderwerp in de rangordetabel - ligt voor de praktijkstudie niet voor de hand, omdat dit onderwerp reeds object is van uitgebreid onderzoek, bijvoorbeeld in het kader van NME.

Het derde onderwerp - 'energie' - is op zichzelf een geschikt onderwerp voor de praktijkstudie, maar het past als thema voor illustratie van integratie van leerstof en vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen waarschijnlijk beter in het profiel 'Natuur en Techniek', omdat het goed aansluit bij de in de eind-examens natuur- en scheikunde geformuleerde eindtermen. In dit profiel ontbreekt echter het vak biologie. Voor de praktijkstudie willen we een thema kiezen, waarin alle drie de natuurwetenschappen een rol kunnen spelen.

Het vierde onderwerp in rangordetabel 3.14 is 'gezondheid'. Ook dit thema is volgens respondenten geschikt voor integratie/samenwerking en komt bijgevolg in aanmerking

voor de praktijkstudie. Naast de plaats van het thema 'gezondheid' in de rangordetabel, noemen we hieronder nog een aantal andere argumenten die de keuze van dit thema voor de praktijkstudie ondersteunen.

Toenemende belangstelling voor facetten van gezondheid en ziekte in onze samenleving

Hoewel de vorige generaties zeker aandacht hadden voor de lichamelijke aspecten van hun bestaan, beschouwden zij 'gezondheid' toch niet als het hoogste goed. Mede onder invloed van de met name in de laatste decennia in de maatschappij optredende tendensen van toenemende individualisering en ontkerstening, is deze situatie veranderd. De meerderheid van de Nederlandse bevolking noemt 'gezondheid' als belangrijkste factor voor een zinvol bestaan (Kooiker & Mootz, 1996).

De toenemende belangstelling voor facetten van gezondheid en ziekte komt onder meer tot uiting in de grote aandacht die de massamedia aan dit thema besteden. Als gevolg hiervan kan - mede door de toegenomen openheid in de medische wereld en de grotere mondigheid van de patiënt - een breed publiek kennis nemen van nieuwe therapeutische en diagnostische mogelijkheden. Tevens is er een toenemende aandacht voor problemen rond alcohol, roken en drugs en krijgt men meer belangstelling voor een gezonde leefwijze en voor de factoren die deze kunnen bevorderen, zoals voldoende lichaamsbeweging en sport.

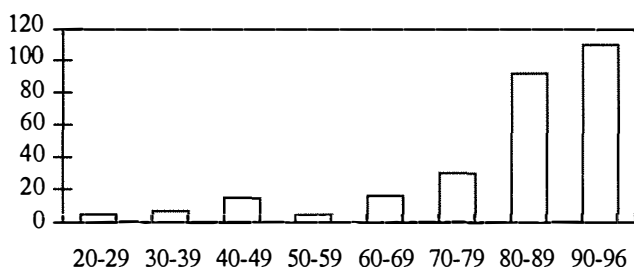
Ongetwijfeld wordt de belangstelling voor gezondheidsvraagstukken mede gevoed door vrees voor ziekten waarvoor nog geen kruid gewassen is en voor het opduiken van nieuwe bedreigingen van de volksgezondheid. We denken hierbij aan een mogelijk verband tussen BSE en de ziekte van Creutzfeldt-Jacob en aan het feit dat het optimisme in het recente verleden ten aanzien van de uitroeijing van infectieziekten niet gerechtvaardigd bleek.

Toenemende belangstelling voor facetten van gezondheid en ziekte in het voortgezet onderwijs

De toenemende belangstelling in onze samenleving voor facetten van gezondheid en ziekte heeft uiteraard ook zijn weerslag op het onderwijs. In de bovenbouw van het voortgezet onderwijs wordt bijvoorbeeld bij de behandeling van de problematiek in de ontwikkelingslanden meer dan voorheen aandacht besteed aan gezondheidsvraagstukken, onder meer bij de vakken aardrijkskunde, economie en geschiedenis. Bij natuur- en scheikunde beperkt de aandacht voor gezondheidsproblematiek zich meestal tot de toepassing van röntgenstralen bij diagnostiek, de risico's verbonden aan het gebruik van radioactieve stoffen en de effecten van toxische stoffen op mens en milieu.

Bij biologie - en in mindere mate bij natuurkunde en scheikunde - heeft er blijkens de leerboeken altijd al een relatie bestaan tussen de aangeboden leerstof en vraagstukken rond gezondheid en ziekte. Deze relatie blijkt ook uit artikelen in de vakbladen

voor het onderwijs in de natuurwetenschappen. In figuur 3.1 geven we een overzicht van de aantallen publicaties over gezondheid en ziekte in deze literatuur. We merken op dat het laatste staafdiagram een periode van zeven jaar betreft, namelijk 1990-1996.



Figuur 3.1: Overzicht van de aantallen publicaties over gezondheid en ziekte in de Nederlandse vakbladen voor het onderwijs in de natuurwetenschappen. De getallen op de y-as betreffen de aantallen publicaties. Op de x-as zijn deze aantallen uitgezet in tienjaarlijkse perioden, uitgezonderd de periode 1990-1996. Een overzicht van de desbetreffende literatuur is verkrijgbaar bij de auteur.

Leerboeken en examenprogramma's

Aspecten van gezondheid komen in de eindexamenprogramma's en leerboeken van de natuurwetenschappen in ruime mate ter sprake. Bij scheikunde treffen we in het eindexamenprogramma en de leerboeken onderwerpen aan als bloedgroepen en antistoffen; neurotransmitters; insecticiden; oorlogsgassen; curare; DNA en genenkaart; spiegelbeeldisomeren; chemie van het zien; gechloreerde koolwaterstoffen; intoxicaties; carcinogenen; polymeren (contactlenzen, prothesen); alcohol; hart en vaatziekten; fotochemische reacties; biotechnologie; diabetes; kernenergie enzovoort.

Bij natuurkunde treffen we met name bij het examenonderdeel 'biofysica' een aantal zogenaamde contextbegrippen aan die verband houden met het thema 'gezondheid', zoals refractieafwijkingen, nachtblindheid, gehoorbeschadiging, radiotherapie en -diagnostiek, veiligheidsaspecten van straling, hartritmestoornissen, hartinfarct, Dopplereffect en hypertensie.

Bij biologie vinden we in het eindexamenprogramma vier contextgebieden, waaronder 'gezondheid'. In dit contextgebied moeten leerlingen biologische kennis kunnen toepassen, onder meer bij erfelijkheidsonderzoek; syndroom van Down; ontstaan van kanker en van hart- en vaatziekten; regulatie van de vruchtbaarheid; verstoorde embryonale ontwikkeling; onregelde groei; invloed van levensgewoonten op gezondheid; effecten van alcohol, drugs en geneesmiddelen; binding van enzymen met geneesmiddelen c.q. gifstoffen; infectieziekten, immuniteit en orgaantransplantatie. In de biologieleerboeken vinden we bovendien nog een aantal aan gezondheid gerelateerde onderwerpen, die deels al hierboven genoemd zijn bij 'natuurkunde' en 'scheikunde'. Uit bovengenoemde mogen we ons inziens afleiden dat facetten van gezondheid en

ziekte in toenemende mate in het voortgezet onderwijs in de belangstelling staan.

Delphi-onderzoek

In het Delphi-onderzoek noemen respondenten in vraagronde-1 (§ 3.3) herhaaldelijk de aanwezigheid van vakgrensoverschrijdende leerstofelementen binnen het thema 'gezondheid', die zich bij uitstek lenen voor samenwerking en integratie van leerstof. Ook noemen zij een aantal hiervoor geschikte onderwerpen binnen het thema 'gezondheid', zoals de werking van geneesmiddelen, toxicologische onderwerpen; ziekten als aids, kanker, struma, diabetes; chemische, biologische en nucleaire aspecten van oorlogvoering; voeding; biochemie en geschiedenis van de natuurwetenschappen.

Respondenten vinden 'gezondheid' een geschikt en wenselijk thema voor integratie/samenwerking in de vorm van kortdurende projecten. Verder menen respondenten dat de invoering van het gezondheidsprofiel in de bovenbouw integratie/samenwerking kan bevorderen. Ook noemen zij een aantal criteria - zoals actuele en realistische onderwerpen - waaraan vakgrensoverschrijdende leerstofelementen zouden moeten voldoen om geschikt te zijn als object voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof. Tevens moet volgens respondenten aandacht worden besteed aan de vormende aspecten van een onderwerp, daarbij kan het thema 'gezondheid' een rol spelen.

Respondenten in vraagronde-2 (§ 3.5) merken op dat binnen een thema als 'gezondheid' aspecten als ziekten en toxicologie leerlingen het meest aanspreken en bovendien aansluiten bij hun denk- en leefwereld. Zij vinden dat het van belang is onderwerpen in een historische context te plaatsen; ook dit is volgens hen goed mogelijk binnen het thema 'gezondheid'. Enkele respondenten vinden het thema 'gezondheid' een bij uitstek geschikt contextgebied. Volgens hen kunnen binnen dit contextgebied diverse onderwerpen met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen ter sprake komen.

Profiel 'Natuur en Gezondheid'

Een ander argument voor de keuze van het thema 'gezondheid' is dat dit thema deel uitmaakt van het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Dit profiel - waarin 'gezondheid' een vakgrensoverschrijdende context vormt - zal leerlingen toerusten tot onder andere medische en (medisch-)biologische studierichtingen. Tevens bestaat er een samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken binnen het profiel 'Natuur en Gezondheid' en het geïntegreerde vak 'Algemene Natuurwetenschappen', waarbinnen ook aspecten gerelateerd aan het contextgebied 'gezondheid' ter sprake komen (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1994a,b).

Literatuurstudie

We merken op dat ook uit de Nederlandse (didactische) vakliteratuur blijkt, dat het thema 'gezondheid' mogelijkheden biedt om bepaalde didactische benaderingen vorm

te geven. Zo kunnen binnen dit thema diverse onderwerpen ter sprake komen binnen zowel een actueel-realistische als een historische context (§ 2.4.1 casus 3; Genseberger, 1989a). Een natuurhistorische benadering kan ertoe leiden dat de motivatie voor de natuurwetenschappen - met name bij meisjes - toeneemt. Deze motivatie lijkt in het bijzonder bevorderd te worden door 'het zichtbaar worden van de natuurwetenschappen als een menselijke en culturele activiteit' (§ 2.4.1 casus 3; Genseberger, 1989a).

Ten slotte zijn er binnen het thema 'gezondheid' mogelijkheden voor het oefenen van praktische vaardigheden, die samenhangen met de wisselwerking tussen waarneming en theorievorming. Dergelijke vaardigheden zijn essentieel voor het kunnen ontwikkelen van modellen (§ 2.4.1 casus 3; Genseberger, 1989a,b).

Op basis van voorgaande concluderen we dat de context 'gezondheid' goede mogelijkheden biedt voor het in de praktijkstudie ontwikkelen van een exemplarisch ontwerp van geïntegreerde leerstof, als handreiking voor docenten in de natuurwetenschappen. Van deze docenten kan namelijk niet of nauwelijks worden verwacht dat zij zelf geïntegreerd lesmateriaal ontwikkelen, omdat daarvoor - zoals bleek uit de Delphi-studie - tijdgebrek een belangrijke belemmerende factor is (zie § 3.7.1). Om docenten te motiveren met geïntegreerd lesmateriaal te gaan werken en eventueel daarna zelf te ontwikkelen, moeten wegen worden gezocht om hun gedrag te beïnvloeden. Volgens Ajzen & Madden (1986) is het wegnemen van belemmeringen één van de mogelijkheden om het gedrag van personen te beïnvloeden.

3.7.3 Gedragsbeïnvloeding volgens Ajzen & Madden

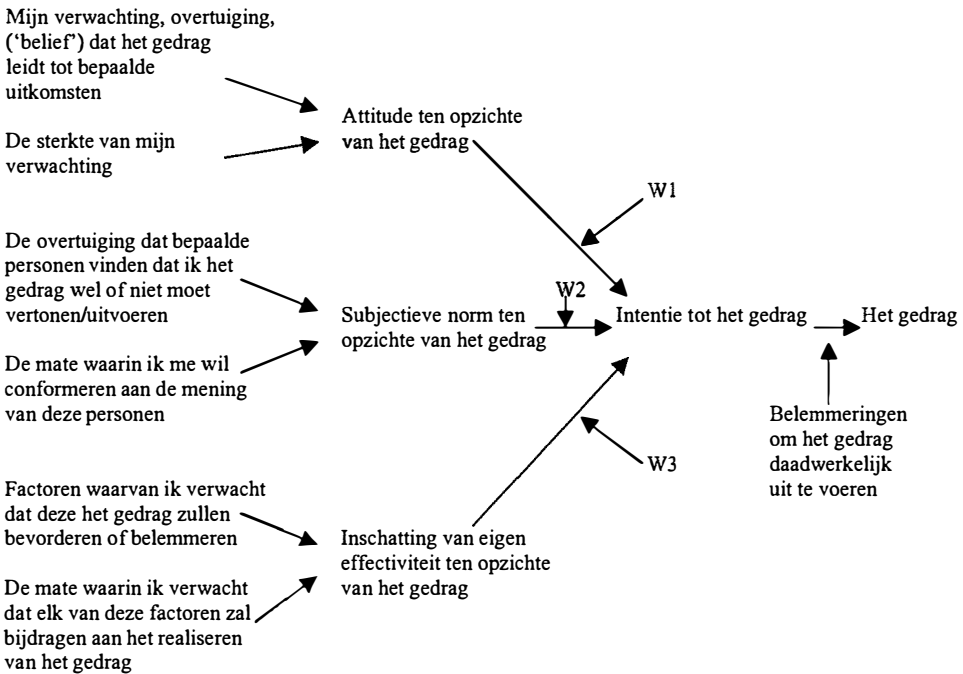
Ajzen & Madden (1986) ontwierpen de zogenoemde theorie van gepland gedrag (theory of planned action) die voortbouwt op de theorie van beredeneerd gedrag (theory of reasoned action) van Fishbein & Ajzen (Ajzen & Fishbein, 1980).

Het model van Ajzen & Madden - gebaseerd op 'the theory of planned action' - is een onder didactici gebruikt model om de factoren die gedrag beïnvloeden, in beeld te brengen. We geven hieronder dit model weer, waarbij we gebruik maken van de vertaalde versies van Schermer (1991) en van Van Woerkum & Kuiper (1995).

We lichten het schema toe, gebruikmakend van de omschrijving van Van Woerkum & Kuiper (1995). Wanneer we het schema van rechts naar links volgen, dan zien we dat gedrag het gevolg is van een intentie, namelijk het voornemen om het gedrag te vertonen. Een voorwaarde voor het vinden van een directe relatie tussen intentie en gedrag is dat het gedrag specifiek wordt omschreven en dat de persoon in kwestie de mogelijkheden heeft om de intentie daadwerkelijk om te zetten in het gedrag. Intenties zijn overigens niet star, maar veranderen in de tijd als gevolg van nieuwe informatie, ideeën en invloeden.

Indirecte factoren

Directe factoren



Uit het schema blijkt vervolgens dat een intentie tot stand komt door een tegen elkaar afwegen van de attitude, de subjectieve norm en de ingeschatte eigen effectiviteit. Haney, Czerniak & Lumpe (1996) spreken hier van drie directe variabelen.

Een attitude weerspiegelt wat iemand van het gedrag vindt en kan positief of negatief zijn (vergelijk Koballa, 1988). De attitude – een persoonlijke component – komt tot stand doordat iemand een aantal mogelijke gedragsconsequenties overdenkt. Bij elke consequentie zijn twee aspecten belangrijk, namelijk de inschatting van de kans dat de consequentie zich zal voordoen en de waardering die aan de consequentie wordt gegeven. Deze twee genoemde aspecten worden door Haney, Czerniak & Lumpe gerangschikt onder indirecte factoren. Indirecte factoren zijn factoren die verwachtingen of in schattingen van de betrokken persoon representeren en die de drie directe factoren beïnvloeden. De auteurs geven aan dat de attitude gericht op bepaald gedrag van grote betekenis is voor het voorspellen van de intentie tot dit gedrag.

De subjectieve norm is de sociale druk die we voelen om ons op een bepaalde manier te gedragen. Ook de subjectieve norm kan positief of negatief zijn. Bij de totstandkoming van de subjectieve norm zijn twee aspecten – indirecte factoren – van belang. In de eerste plaats de inschatting van de mate waarin belangrijke anderen het gedrag goed- of afkeuren en vervolgens het belang dat aan de mening van elk van deze

belangrijke anderen wordt gehecht. De uiteindelijke subjectieve norm is het resultaat van de gecombineerde invloed - zowel positief als negatief - van alle belangrijke anderen. Volgens Haney, Czerniak & Lumpe (1996) levert bij docenten de subjectieve norm een duidelijk minder grote bijdrage aan het totstandkomen van de intentie tot bepaald gedrag dan de attitude. Zij menen dat de autonomie van docenten en hun vaak geïsoleerde positie hierbij een rol spelen (vergelijk Cuban, 1990).

De derde directe factor - de ingeschatte eigen effectiviteit - is de persoonlijke inschatting van het gemak of de moeite waarmee het gedrag daadwerkelijk kan worden uitgevoerd. Volgens Haney, Czerniak & Lumpe (1996) representeren de desbetreffende indirecte factoren de mate waarin de persoon verwacht dat deze factoren het realiseren van het gedrag zullen bevorderen of belemmeren. De auteurs onderscheiden hierbij interne factoren, zoals bekwaamheid of kennis, en externe factoren, zoals beschikbare bronnen, gelegenheid om het gedrag te realiseren en medewerking van anderen. De ingeschatte eigen effectiviteit levert naar hun mening eveneens een bijdrage aan de intentie van docenten tot bepaald gedrag, hoewel minder dan de attitude. Naar de mening van Haney, Czerniak & Lumpe moet er bij onderwijsvernieuwingen dan ook primair aandacht worden geschonken aan de attitude van docenten ten opzichte van het gedrag. Een positieve attitude van docenten ten opzichte van onderwijsvernieuwingen kan volgens de auteurs worden ontwikkeld door hen tijdens hun opleiding te laten deelnemen aan succesvolle experimenten, zoals in ons voorbeeld meewerken aan het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal. Het wegnemen van belemmeringen in de vorm van het verschaffen van hulpmiddelen, zoals onderwijsmateriaal, is volgens hen ontoereikend om te komen tot duurzame veranderingen in de onderwijspraktijk. Hiervoor is een positieve attitude van docenten noodzakelijk.

De attitude, de subjectieve norm en de ingeschatte eigen effectiviteit ten opzichte van het beoogde gedrag hebben een directe invloed op de intentie, maar zijn daarbij veelal niet van even groot belang. Ze worden daarom voorzien van een wegingsfactor die het relatieve belang voor de intentievorming uitdrukt (zie in het schema W1, W2 en W3). Van Woerkum & Kuiper (1995) wijzen erop dat de eigen effectiviteit een inschatting van de uitvoerbaarheid van het gedrag betreft en dat deze factor vooral een rol speelt wanneer iemand denkt weinig controle over het gedrag te hebben. Overigens beïnvloedt de ingeschatte eigen effectiviteit volgens de auteurs ook het gedrag direct. Iemand die overtuigd is te falen en die de eigen effectiviteit dus als erg klein inschat, is geneigd dit waar te maken.

Tot slot gaan we nader in op de relatie tussen attitude en beoogd gedrag. Shrigley (1990) noemt verschillende opties voor deze relatie, zoals 'attitude gaat vooraf aan gedrag', 'attitude is niet direct gerelateerd aan gedrag', 'attitude volgt op het gedrag', en 'attitude en gedrag zijn reciproom'.

In de eerste optie is de attitude direct gerelateerd aan het gedrag. De tweede optie - waarin de attitude niet direct is gerelateerd aan het gedrag - betreft de opvatting van Ajzen & Fishbein (1980). Naar de mening van deze auteurs is namelijk veeleer de in-

tentie tot bepaald gedrag de voorloper van dit gedrag dan de attitude. Shrigley deelt deze mening en concludeert in dit verband dat de attitude ten aanzien van bepaald gedrag een minder grote voorspellende waarde heeft voor het daadwerkelijk uitvoeren van dit gedrag dan de intentie daartoe. Met betrekking tot de derde optie - 'attitude volgt op het gedrag' - wijst Shrigley erop dat gedrag inderdaad een duidelijke invloed kan hebben op de attitude. De laatstgenoemde optie 'attitude en gedrag zijn reciprook' komt overeen met de opvatting van Myers (1980, 1987a,b). Deze auteur stelt dat zowel de optie dat attitude het gedrag beïnvloedt als de optie dat attitude volgt op gedrag steekhoudend is.

Overigens wijst Shrigley (1990) erop dat het model van Myers niet eenvoudigweg als tweerichtingsverkeer is te beschouwen. Attitude en gedrag vormen in zijn opvatting als het ware een keten zonder einde of een spiraal waarbij de ene component de andere voedt. Succesvol gedrag kan aanleiding zijn tot een gewijzigde attitude en zet als gevolg hiervan de cyclus in gang. Op deze wijze kunnen attitudes en gedrag elkaar over en weer bekrachtigen.

3.7.4 Uitkomsten van het onderzoek in relatie tot het gepresenteerde model

Het in dit proefschrift beoogde gedrag van docenten in de natuurwetenschappen betreft het integreren van leerstof en vakinhoudelijk samenwerken. Eigenlijk is hier sprake van een cluster van gedragingen, namelijk het noodzakelijke gedrag voor het door docenten in de natuurwetenschappen gezamenlijk ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal en/of samenwerken bij de implementatie en uitvoering ervan. Onder 'uitvoering' verstaan we het aanbieden en aanpassen of reviseren van het lesmateriaal.

In de voorgaande hoofdstukken is een aantal factoren ter sprake gekomen die van invloed kunnen zijn op de intentie van docenten tot het gezamenlijk ontwikkelen en/of uitvoeren van geïntegreerde leerstof.

In de wetenschappelijke literatuur is een aantal factoren naar voren gekomen die bij docenten kunnen leiden tot positieve of negatieve verwachtingen ten aanzien van integratie. Uit deze literatuur is gebleken dat er gegronde motieven zijn vóór integratie en dat integratie een aantal gunstige effecten op leerlingen heeft. Tevens is naar voren gekomen dat ook in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs integratie wordt aanbevolen, zij het niet over de volle breedte. Daarnaast is in deze literatuur aandacht besteed aan een aantal integratie bevorderende en remmende factoren.

In de Nederlandse didactische vakliteratuur vonden we enkele praktijkvoorbeelden van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen en integratie van leerstof. De docenten in de beschreven praktijkvoorbeelden werden gestimuleerd tot integreren van leerstof en samenwerken door motieven van diverse aard, zoals inhoudelijke, didactisch-pedagogische, ideële, innovatieve en organisatorische. Uit het feit dat zij gezamenlijk geïntegreerde leerstof ontwikkelden, blijkt dat zij verwachtten dat het aanbieden van deze leerstof op de leerlingen gunstige effecten zou hebben. Bij de uitvoering van het ontwikkelde geïntegreerde lesmateriaal bleek dit in-

derdaad het geval te zijn. Effecten van een geïntegreerd leerstofaanbod voor leerlingen waren volgens deze docenten een betere aansluiting bij hun beleavings- en ervaringswereld en bevordering van hun motivatie en begripsontwikkeling. Deze effecten worden ook in de wetenschappelijke literatuur genoemd. Tevens blijkt uit de Nederlandse didactische vakliteratuur dat het inzicht van leerlingen in de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze toenam en dat zij zelfstandiger konden werken. Mede als gevolg hiervan ervoeren de docenten de uitgevoerde projecten als zeer positief. Uit de beschrijvingen van de praktijkvoorbeelden blijkt dat het inhoudelijk nut van integratie/samenwerking ('de synergetische werking') duidelijk ook werd ervaren door docenten. De genoemde effecten wekten bij de docenten positieve verwachtingen ten aanzien van integratie en waren voor hen weer een stimulans om gezamenlijk het lesmateriaal - waar nodig - bij te stellen en opnieuw aan te bieden. Het resultaat van deze verwachtingen leidde tot een positieve attitude van docenten ten opzichte van het uitvoeren van deze projecten. De projecten in de beschreven praktijkvoorbeelden werden als gevolg hiervan gedurende een reeks van jaren uitgevoerd.

Ook respondenten uit de Delphi-studie verwachten van het aanbieden van geïntegreerde leerstof gunstige effecten op leerlingen: doorbreking van systeemscheiding, een beter inzicht in de gemeenschappelijke aspecten van de natuurwetenschappen, vergroting van probleemoplossingsvaardigheden en bevordering van begripsontwikkeling. We nemen aan dat gunstige effecten bij leerlingen (en bij docenten zelf) als gevolg van het aanbieden van geïntegreerd lesmateriaal, bij docenten positieve verwachtingen ten aanzien van integratie zullen wekken en hen zullen stimuleren tot integreren van leerstof en samenwerken. De respondenten uit de Delphi-studie verwachten eveneens een dergelijk effect wanneer docenten gezamenlijk geïntegreerde leerstof ontwikkelen. We nemen aan dat ook nascholing op het gebied van vakinhoudelijke samenwerking en integratie de motivatie van docenten hiertoe kan stimuleren. Dit geldt eveneens voor aansprekende beschrijvingen in de didactische vakliteratuur van praktijkvoorbeelden van vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof. In toenemende mate bevatten vakbladen van de natuurwetenschappelijke vakken publicaties die docenten kunnen motiveren tot een dergelijke integratie/samenwerking (zie bijvoorbeeld Voogt & Fockens, 1996; Fockens & Voogt, 1997a,b).

Uit de bespreking van het model van Ajzen & Madden is af te leiden dat de attitude van docenten ten aanzien van integratie een cruciale factor is en dat de subjectieve norm - 'wat anderen ervan vinden' - minder zwaar weegt. Daarnaast is duidelijk geworden dat de intentie van docenten - in dit geval tot het ontwikkelen c.q. aanbieden van geïntegreerde leerstof - wordt beïnvloed door de verwachtingen die docenten hebben over belemmerende factoren met betrekking tot het beoogde gedrag. Hoewel belemmeringen in het algemeen een minder grote invloed hebben op de intentie tot het beoogde gedrag dan een positieve attitude van docenten, zijn er ook belemmeringen die integratie vrijwel onmogelijk maken. Eén daarvan is tijdgebrek van docenten. Deze belemmering kwam naar voren zowel in de wetenschappelijke literatuur en in de Ne-

derlandse (didactische) vakliteratuur als ook in het Delphi-onderzoek. Om docenten het tijdrovende ontwikkelen van geïntegreerde leerstof te besparen, besloten we hen een handreiking te bieden in de vorm van een voorbeeldmatig ontwerp van geïntegreerde leerstof. Zo'n ontwerp van geïntegreerde leerstof kan worden gerealiseerd in de vorm van een studiewijzer bij een leerstofonderdeel uit bestaande leerboeken natuurwetenschappen zodat er voor leerlingen een geïntegreerd leerstofaanbod ontstaat, óf door het zelf - in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen - ontwikkelen van geïntegreerde leerstof bij een onderwerp met vakgrensoverschrijdende leerstof-elementen (zie § 4.7). Bovendien kunnen we met een dergelijk leerstofontwerp aansluiten bij de ontwikkelingen in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs.

4. Het in de praktijk ontwikkelen van geïntegreerde leerstof

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk beschrijven we de opzet en de resultaten van het praktijkonderzoek. Daarmee geven we antwoorden op onderzoeksvraag C: *‘Welke kenmerken zou een ontwerp van geïntegreerde leerstof waarbij het zelfstandig leren van leerlingen wordt bevorderd, moeten hebben en hoe zou een dergelijk ontwerp in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen kunnen worden ontwikkeld?’*

Het leerstofontwerp is ontwikkeld in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum. In § 4.2 gaan we in op het samenwerkingsproces tussen de onderzoeker en deze docenten, waarmee we het tweede deel van onderzoeksvraag C beantwoorden. In het vorige hoofdstuk gaven we aan dat op grond van de resultaten van de Delphi-studie is besloten het onderwijsveld een handreiking te doen om te komen tot integratie van leerstof op het gebied van gezondheid. Het contextgebied ‘gezondheid’ is echter heel omvangrijk en moest derhalve worden ingeperkt tot een geschikt onderwerp. In § 4.3 beschrijven we deze inperking, die leidde tot de keuze voor het onderwerp ‘het oog’.

Ter beantwoording van het eerste deel van onderzoeksvraag C werden vervolgens de volgende deelvragen met betrekking tot het te ontwikkelen leerstofontwerp over het oog geformuleerd:

- *Wat is de inhoudelijke context voor het leerstofontwerp?*
- *Wat is de didactische context voor het leerstofontwerp?*
- *Welke misconcepties met betrekking tot het oog belemmeren een goede begripsvorming bij leerlingen?*
- *Welke consequenties heeft de didactische benadering voor de keuze van de vorm van het leerstofontwerp?*
- *Welke didactische uitgangspunten zijn gehanteerd bij het ontwikkelen van het ontwerp van geïntegreerde leerstof?*
- *Op welke wijze vond de uitwerking van het leerstofontwerp plaats?*
- *Welke vorm heeft het leerstofontwerp gekregen?*
- *Op welke wijze vond de verkenning plaats van het draagvlak voor het leerstofontwerp en wat waren hiervan de uitkomsten?*
- *Wat waren de uitkomsten van een toetsing van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp onder normale schoolomstandigheden?*

In § 4.4 gaan we in op de integratie van biologie met de overige natuurwetenschappen en vermelden we enkele uitgangspunten die de vakontwikkelgroep ‘biologie-natuurkunde-scheikunde’ hanteerde bij het ontwikkelen van de examenprogramma’s van de

natuurwetenschappelijke vakken. Voorts besteden we aandacht aan de eindtermen met betrekking tot het oog in deze programma's en geven we mogelijkheden aan voor integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken bij dit onderwerp. In § 4.5 brengen we de didactische context van het leerstofontwerp ter sprake. In § 4.6 gaan we in op misconcepties in relatie met het oog. In § 4.7 maken we op grond van de in § 4.5 gekozen didactische benadering een keuze voor de vorm waarin het leerstofontwerp zal worden ontwikkeld en in § 4.8 formuleren we de didactische uitgangspunten voor dit leerstofontwerp. In § 4.9 beschrijven we de wijze waarop het leerstofontwerp is uitgewerkt, waarbij ter sprake komen de constructie van probleemtaken, een procedure voor het hanteren van probleemtaken en de uitwerking van het leerstofontwerp in hoofdlijnen. In § 4.10 beschrijven we het leerstofontwerp en in § 4.11 blikken we erop terug. Ten slotte beschrijven we in § 4.12 de resultaten van de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp en in § 4.13 de toetsing in de praktijk van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp.

4.2 Proces van samenwerking bij het ontwikkelen

In deze paragraaf beschrijven we het samenwerkingsproces tussen de onderzoeker en een aantal docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum die betrokken waren bij de ontwikkeling van het in § 4.10 beschreven leerstofontwerp. Het leerstofontwerp is op het Comenius College - een brede scholengemeenschap voor mavo, havo, atheneum en gymnasium - ontwikkeld, omdat de onderzoeker daar tot juli 1999 nog enkele EHBO lessen gaf en de betreffende docenten bereid waren hun medewerking aan dit project te verlenen. Voorheen was de onderzoeker op deze school biologiedocent en conrector van de bovenbouw van het vwo.

Uitgangssituatie voor de samenwerking

In de bovenbouw van het Comenius College vond tussen de docenten in de natuurwetenschappen nauwelijks vakinhoudelijke samenwerking plaats. Er was alleen incidenteel overleg, voornamelijk over overlappende leerstof. Eén van de belangrijkste oorzaken voor het vrijwel niet voorkomen van samenwerking was dat mogelijkheden hiertoe - voornamelijk wegens de vrije vakkenpakketkeuze - nauwelijks aanwezig waren. Docenten van de secties natuurwetenschappen hadden overigens wel belangstelling voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof. Zij meenden namelijk dat leerlingen door een geïntegreerd leerstofaanbod meer oog krijgen voor de samenhang tussen deze vakken en dat een dergelijk leerstofaanbod wellicht een positieve invloed heeft op de begripsontwikkeling van leerlingen.

De plannen voor de invoering van profielen met vaste vakkencombinaties, de aanbevelingen van de vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde (§ 4.4.1) en de inhoud van de vernieuwde examenprogramma's van deze vakken, waren aanleiding

voor de docenten om daadwerkelijk te zoeken naar mogelijkheden voor integratie van de natuurwetenschappelijke vakken in de bovenbouw. Daarbij werden zij gemotiveerd door gevoelens van onvrede met de bestaande situatie. In de eerste plaats was er bij bepaalde onderwerpen sprake van overlap in de leerstof, bijvoorbeeld van biologie en natuurkunde over het oog. Door de vrije pakketkeuze en de behandeling van het oog bij biologie en natuurkunde in verschillende leerjaren, leidde deze overlap niet tot vakinhoudelijke samenwerking. Voorts vonden de docenten dat er bij de betrokken vakken een duidelijke uniformiteit moest komen in de terminologie van begrippen. Verder wilden ze - met het oog op mogelijke samenwerkingsactiviteiten - afspraken maken over het tijdstip van behandeling van onderwerpen, met name in verband met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen. Ook zouden er volgens hen plannen moeten worden gemaakt ten aanzien van het zogenaamde profielwerkstuk, waarin tenminste twee van de drie natuurwetenschappelijke vakken moeten participeren (§ 4.4.1). Daarnaast zouden de te kiezen leerstofelementen problemen van didactische c.q. vakinhoudelijke aard moeten bevatten, die door vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof zouden kunnen worden opgelost of worden verminderd. Ten slotte realiseerden de docenten zich dat ook het aanleren en oefenen van vaardigheden - onder meer bij practica - vakinhoudelijke samenwerking vereist.

De betrokken docenten vonden dat vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof ten opzichte van een gescheiden leerstofaanbod een duidelijke meerwaarde moest hebben, zowel voor leerlingen als voor docenten onder meer door een positieve invloed op leerklimaat, motivatie en begripsontwikkeling.

Tot slot merken we op dat integratie van leerstof(onderdelen) past binnen het beleid van het Comenius College. De school streeft naar het realiseren van meer samenhang tussen de vakken en heeft daartoe initiatieven ontplooid in de basisvorming. Voor de tweede fase wordt naast meer integratie bij de exacte vakken ook gestreefd naar integratie ten aanzien van het literatuuronderwijs bij de moderne vreemde talen.

Samenwerking bij het ontwikkelen van het leerstofontwerp

De onderzoeker vond vijf docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum bereid mee te werken aan het ontwikkelen van het leerstofontwerp over het oog. Het betrof twee docenten biologie, twee docenten natuurkunde en één docent scheikunde; drie van hen zijn gepromoveerd. Allen zijn ervaren docenten met een onderwijservaring van twintig tot dertig jaar, voornamelijk aan het Comenius College. Zij hebben bovendien belangstelling voor ontwikkelingen op vakinhoudelijk en vakdidactisch gebied. Tevens verleenden de technisch-onderwijsassistenten natuurkunde en biologie hun medewerking bij het ontwikkelen en vormgeven van demonstratie- en leerlingenproeven. Omdat de onderzoeker nog als docent EHBO aan de school verbonden was, kon hij met de bovengenoemde docenten en TOA's frequent overleggen.

Op basis van gegevens uit de Delphi-studie en de eindexamenprogramma's van de na-

tuurwetenschappelijke vakken kozen onderzoeker en docenten 'het oog' als onderwerp voor het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof (§ 4.3).

Voorts bespraken zij de mogelijkheden van verschillende didactische benaderingen van het leerstofontwerp, zoals de probleemgestuurde benadering, de natuurhistorische benadering, het ontwikkelen van een natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze, de maatschappelijke benadering en het aansluiten bij de denk- en leefwereld van de leerling.

Een natuurhistorische benadering zou de leerlingen een beeld kunnen geven van de ontwikkeling van de wetenschap en hen doen ervaren dat wetenschap mensenwerk is (vergelijk Genseberger, 1989a). 'Het ontwikkelen van de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze' is - volgens respondenten uit de Delphi-studie eigenlijk geen zelfstandige benadering, maar dient in principe bij alle onderwerpen te worden geëxpliciteerd. Ook het aansluiten bij de denk- en leefwereld van leerlingen en het aanbieden van leerstofelementen die maatschappelijk relevant zijn, spelen volgens onderzoeker en docenten altijd een belangrijke rol bij een leerstofontwerp.

Op basis van literatuuronderzoek door de onderzoeker, kozen onderzoeker en docenten een didactische benadering voor het leerstofontwerp die aansluit bij het zelfstandig leren in het studiehuis, namelijk het 'probleemgestuurde leren' (§ 4.5). Omdat zij rekening wilden houden met misconcepties bij leerlingen met betrekking tot zien en het oog, ging de onderzoeker het voorkomen hiervan na in de literatuur (§ 4.6). Tot slot kozen onderzoeker en docenten - mede op grond van in de literatuur gevonden misconcepties - voor functieafwijkingen als vertrekpunt bij de constructie van de leerlingentaak.

Vervolgens gingen de onderzoeker en de docenten na in welke vorm - passend bij de gekozen didactische benadering - het leerstofontwerp ontwikkeld zou kunnen worden. Eerst gingen zij na of het mogelijk was een studiewijzer te ontwikkelen voor het geïntegreerd aanbieden van leerstof uit bestaande leerboeken. Bij de analyse van de meest gangbare leerboeken biologie en natuurkunde bleek dat dit niet mogelijk was (§ 4.7). Daarom kozen zij voor het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof als voorbeeld voor het planniveau.

Zij formuleerden een aantal didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp (§ 4.8) en ontwierpen op basis daarvan een procedure die als basis diende voor de verdere uitwerking van het leerstofontwerp (§ 4.9). Bij de constructie van taken voor leerlingen hielden zij rekening met in de literatuur geformuleerde criteria. Voorts maakten zij afspraken over de inhoud van de te formuleren problemen in het leerstofontwerp. Deze problemen zouden voor leerlingen aansprekend en relevant moeten zijn.

Taakverdeling algemeen

Bij de ontwikkeling van het leerstofontwerp spraken onderzoeker en docenten een taakverdeling af. Deze verdeling van taken hield verband met de specifieke vakinhoud.

delijke deskundigheid van de docenten en de beschikbare tijd van ieder van hen. De afspraak hield in dat de onderzoeker steeds het initiatief zou nemen in het samenwerkingsproces. In concreto: de onderzoeker ontwikkelt onderdelen van het leerstofontwerp en legt deze voor aan de betreffende docenten in de natuurwetenschappen. Na verwerking van gegeven commentaar en suggesties legt de onderzoeker telkens bijgestelde ontwerpen opnieuw voor tot uiteindelijk consensus is bereikt. Tevens spraken onderzoeker en docenten af dat de onderzoeker zonodig externe deskundigen raadpleegt.

Keuze en volgorde van deelonderwerpen

Onderzoeker en betrokken docenten in de natuurwetenschappen onderzochten welke mogelijkheden er waren voor integratie van deelonderwerpen uit de leerstof biologie over het oog en de corresponderende stof uit natuurkunde en/of scheikunde (zie § 4.4.2). Zij gingen daarbij uit van de op het oog betrekking hebbende eindtermen uit de nieuwe eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken en maakten tevens gebruik van de invulling die in gangbare leerboeken - gebaseerd op de oude examenprogramma's - aan deze eindtermen werd gegeven. Zij formuleerden een aantal criteria waaraan deze deelonderwerpen zullen moeten voldoen (§ 4.4.2, tabel 4.1). Op grond van deze criteria kozen zij drie deelonderwerpen, namelijk 'aspecten van de geometrische optica', 'de pupilreflex' en 'het zien van kleuren'. Gezien het exemplarische karakter van het leerstofontwerp in deze studie, besloten zij binnen één deelonderwerp één thema voorbeeldmatig volledig uit te werken in de vorm van probleemtaken.

Voorafgaand aan de werkafspraken per deelonderwerp maakten docenten en onderzoeker afspraken over de volgorde van behandeling van deze deelonderwerpen. Deze volgorde werd bepaald door het gegeven dat voor het begrijpen van een bepaald thema kennis uit een ander thema nodig kan zijn. Daarom besloten de onderzoeker en de docenten eerst de aspecten van de geometrische optica ter sprake te brengen en vervolgens de pupilreflex en het zien van kleuren.

Afspraken per deelonderwerp

Bij het maken van afspraken over de thema's binnen de deelonderwerpen moest volgens docenten en onderzoeker rekening worden gehouden met een aantal voorwaarden. Zo moest de volgorde van de thema's binnen een deelonderwerp - met het oog op begripontwikkeling bij leerlingen - zodanig zijn dat de diverse thema's een logische sequentie vormen. Voorts moest rekening worden gehouden met het gegeven dat voor behandeling van deze thema's slechts een beperkt aantal contacturen beschikbaar zou zijn. Deze tijdsbeperking zou volgens hen ook gelden voor zelfwerkzaamheidsactiviteiten van leerlingen in het kader van het studiehuis in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. De docenten en de onderzoeker gingen er voorshands vanuit dat de toekomstige beschikbare tijd voor de thema's min of meer gelijk zal zijn aan die in de hui-

dige situatie.

Omdat het aandeel van scheikunde - op grond van het examenprogramma - in het leerstofontwerp niet groot kon zijn, gingen de docent scheikunde en de onderzoeker na welke aspecten van de scheikunde zich lenen voor verrijkingsstof. Tevens werd een didacticus van de vakgroep chemiedidactiek (Universiteit Utrecht) geraadpleegd. Bij bepaalde aspecten van het oog zoals 'staar' en 'hulpmiddelen om de gezichtsscherpte te optimaliseren' zou bij het onderdeel 'toepassingen van polymeren' uit het scheikundeprogramma, aandacht kunnen worden besteed aan onderwerpen als brillen, contactlenzen en kunstlenzen. Voorts kan de rol van vitamine A bij de vorming van de visuele pigmenten ter sprake komen.

Ten aanzien van de verdere taakverdeling zagen docenten en onderzoeker de volgende mogelijkheden. In de toekomst kunnen zuiver fysische aspecten, zoals genoemd in het subdomein 'Licht' en het subdomein 'Elektromagnetisch spectrum', door de natuurkundedocenten behandeld (blijven) worden. De biologische en fysische aspecten van de functie van het oog kunnen door de biologiedocenten worden behandeld. De biologiedocenten en de natuurkundedocenten kunnen - op basis van het leerstofontwerp - gezamenlijk de leerstof voor deze aspecten met bijbehorende opdrachten en toetsen samenstellen.

Het is duidelijk dat de leerlingen voor wat betreft de fysische aspecten van de werking van het oog, zullen moeten voldoen aan de eisen die gesteld worden in de desbetreffende eindtermen natuurkunde uit het examenprogramma N1. Dit programma is bestemd voor het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Het profiel 'Natuur en Techniek' omvat voor natuurkunde behalve het programma N1 ook het programma N2. Dit betekent dat leerlingen die het profiel 'Natuur en Techniek' volgen - waarvan biologie geen deeluitmaakt - wel de leerstof natuurkunde over de oogfunctie moeten beheersen. Het is niet waarschijnlijk dat er voor de genoemde profielen bij het natuurkundeonderwijs over de stof van N1 aparte leerlingengroepen kunnen worden gevormd. Dit zou alleen mogelijk zijn wanneer er voldoende leerlingen zijn voor twee groepen en er bovendien geen al te groot verschil is in aantallen leerlingen die opteren voor de onderscheiden profielen. De kans is dus groot dat deze leerlingen gezamenlijk het onderwijs volgen voor de leerstof van N1. Wanneer de leerstof over de oogfunctie van biologie en natuurkunde voor leerlingen met het profiel 'Natuur en Gezondheid' geïntegreerd wordt aangeboden, is het niet zinvol dat de natuurkundeleerstof over het oog tijdens de N1-lessen wordt behandeld. Bovendien zou dit dan aan het begin van het vijfde leerjaar plaatsvinden, terwijl bij biologie het oog gewoonlijk in het zesde leerjaar ter sprake komt. De docenten natuurkunde van het Comenius College in Hilversum zagen de volgende oplossing voor dit probleem. Zij willen de natuurkundestof over het oog uit het N1-programma voor leerlingen met het profiel 'Natuur en Techniek' onderbrengen bij het N2-programma. Zij hoeven de bespreking van deze stof overigens niet uit te stellen tot het gehele N1-programma is behandeld. In principe zijn de genoemde programma's wel bedoeld om te stapelen, maar de vakontwikkelgroep biologie-natuur-

kunde-scheikunde is van mening dat het goed mogelijk is de N1- en N2-programma's gedeeltelijk parallel aan te bieden (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Overigens betekent het geïntegreerd aanbieden van de leerstof over het oog voor de leerlingen die het profiel Natuur en Gezondheid volgen wel dat er in het N1 programma een hiaat valt door het later aan de orde komen van de natuurkunde-leerstof over het oog. De omvang van dit hiaat is afhankelijk van het tijdstip waarop uiteindelijk de geïntegreerde leerstof over het oog zal worden aangeboden.

In de situatie voor de invoering van de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs op het Comenius College besteedden zowel de biologiedocenten als de natuurkundedocenten ongeveer vier lesuren aan de bespreking van de oogfunctie. Wanneer de biologiedocenten het natuurkundeaandeel ook voor hun rekening zouden nemen, betekent dit een taakverzwaring. In het kader van het studiehuis is het de bedoeling dat leerlingen zoveel mogelijk zelfstandig werken. De door de onderzoeker en de docenten natuurkunde ontwikkelde probleemtaken zijn hier ook op toegesneden. Uiteraard moeten de biologiedocenten de leerlingen wel assisteren bij de uitvoering van de probleemtaken. Een compensatie voor de taakverzwaring zou mogelijk zijn wanneer natuurkundedocenten een aantal lessen van het geïntegreerde vak 'Algemene Natuurwetenschappen' die zijn opgedragen aan biologiedocenten, kunnen overnemen. Daarnaast zou een herverdeling van algemene taken, waarmee elke docent van het Comenius College naast zijn lesgebonden taak belast is, een andere compensatiemogelijkheid zijn.

4.3 Onderwerpkeuze

Bij de keuze van een onderwerp voor het leerstofontwerp gingen onderzoeker en docenten uit van de onderwerpen in tabel 3.13 (§ 3.5.2). In deze tabel worden onderwerpen genoemd die gerelateerd zijn aan het contextgebied 'gezondheid', namelijk 'voeding', 'toxicologie', 'oog', 'oor', 'materialen' (onder meer stevigheid, chemische samenstelling, structuur-bouwelementen), 'werking van geneesmiddelen', 'geschiedenis van de natuurwetenschappen', 'sport, houding en beweging', 'hart en circulatie' en 'ziekten als aids, kanker, struma en diabetes'. Zij vonden dat een te kiezen onderwerp onderdeel zou moeten zijn van de examenprogramma's van alle drie de natuurwetenschappen, maar zeker van dat van het vak biologie, dat in het profiel 'Natuur en Gezondheid' een kernvak is (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1994a,b; 1995a). Op basis van dit criterium komen de volgende onderwerpen uit tabel 3.13 niet in aanmerking voor het leerstofontwerp: 'oor', 'materialen', 'hart en circulatie' en 'ziekten als aids, struma en diabetes'.

Ten aanzien van het maken van een keuze tussen de resterende onderwerpen biedt rangordetabel 3.14 nauwelijks houvast. Zo komt het onderwerp 'toxicologie' niet in de rangordetabel voor. Over dit onderwerp is overigens in 1996 een didactisch proefschrift verschenen (Roebertsen, 1996).

De onderwerpen 'oog' en 'voeding' zijn onderwerpen in de categorie 'eerste keus',

maar worden respectievelijk slechts één en twee keer genoemd en bovendien niet door ervaren docenten zoals schoolpracticumdocenten. Wel honoreren de respondenten deze onderwerpen met een score van tenminste 4.0 (tabel 3.13). De overige onderwerpen uit tabel 3.13 worden wel in de rangordetabel genoemd, maar niet als eerste keus. De onderwerpen 'geschiedenis van de natuurwetenschappen' en 'sport, houding en beweging' worden respectievelijk zes en zeven keer gekozen. Het onderwerp 'geschiedenis van de natuurwetenschappen' heeft geen rechtstreeks verband met de examenprogramma's. Wel zouden enkele deelaspecten van het contextgebied 'gezondheid' geschikt zijn voor een natuurhistorische benadering (Genseberger 1989a,b). Het onderwerp 'sport, houding en beweging' wordt voornamelijk in verband gebracht met biologische aspecten zoals leefstijl en regulatie. Het onderwerp 'geneesmiddelen' speelt slechts een ondergeschikte rol in de examenprogramma's biologie en scheikunde. Het onderwerp 'voeding' sluit goed aan bij biologie en scheikunde (stofwisseling en structuren van biochemische stoffen). Het heeft echter geen raakpunten met het natuurkundeprogramma.

Het onderwerp 'het oog' maakt deel uit van zowel het biologie- als het natuurkunde-eindexamenprogramma. De vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde beveelt aan de natuurkundige en biologische aspecten van het oog op elkaar af te stemmen (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a). Het oog heeft ook raakpunten met het vak scheikunde. Bij dit vak kan - bij een onderwerp als contact- en implantlenzen - aangesloten worden bij aspecten zoals structuur en functie van polymeren en stereo-isomeren.

Op grond van bovenstaande overwegingen ging de voorkeur van onderzoeker en docenten uit naar een leerstofontwerp over 'het oog'. Gegevens uit de Delphi- en de literatuurstudie ondersteunen deze voorkeur.

In de eerste vraagronde van de Delphi-studie werd een stelling geformuleerd over de geschiktheid van dit onderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof (bijlage 2, vraag 19). In vraagronde-2 was het oog één van de 26 keuzemogelijkheden in de lijst van - door respondenten aangedragen - geschikte onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof (bijlage 3, vraag 24). In bijlage 6 werden de scores van respondenten vermeld op beide bovengenoemde vragen. Ook uit deze scores bleek voldoende steun voor de keuze van 'het oog' als onderwerp voor de praktijkstudie. Het percentage scores 4 en 5 ('eens' en 'zeer eens') van respondenten met een biologische vakachtergrond voor het onderwerp 'oog' was wat hoger dan voor het onderwerp 'voeding', respectievelijk 85% en 73%.

Van der Veen (1983a; § 2.4.2) noemt bij het onderdeel 'zintuigen en leren waarnemen' als voorbeelden van keuzeonderwerpen: 'spiegels en breking', 'gezichtshoek en zien' en 'parallax'. Ook noemt hij het keuzeonderwerp 'licht, beelden zien' (onder meer over lichtstralen, spiegels, lenzen, camera en oogafwijkingen). Uit deze voorbeelden van Van der Veen blijkt tevens de aanwezigheid van voldoende vakgrensoverschrijdende leerstofelementen bij een onderwerp als 'het oog'.

Voor de keuze van 'het oog' als onderwerp voor het leerstofontwerp vinden we ook

steun in de wetenschappelijke literatuur. Zo beschouwt Kuhn (1997) het thema 'het oog en het zien' als een standaardvoorbeeld voor een vakgrensoverschrijdende benadering bij biologie en natuurkunde. Hij wijst daarbij op onderwerpen zoals de geometrische optica en het proces van het zien waarbij volgens hem onderdelen uit de quantumfysica en biochemie interdisciplinair ter sprake kunnen komen.

Op basis van voorgaande overwegingen en literatuurgegevens besloten onderzoeker en docenten definitief tot de keuze van 'het oog' als onderwerp voor het leerstofontwerp.

4.4 Inhoudelijke context voor integratie van leerstof over het oog

In deze paragraaf gaan we in op de inhoudelijke context voor integratie van leerstofelementen over het oog. Daarmee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: *'Wat is de inhoudelijke context voor het leerstofontwerp?'*

In § 4.4.1 besteden we aandacht aan de uitgangspunten die de 'vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde' hanteerde bij het ontwikkelen van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken. In § 4.4.2 beschrijven we - aan de hand van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken en leerboeken - mogelijkheden voor integratie van leerstofonderdelen uit biologie en natuur- en scheikunde over het onderwerp het oog.

4.4.1 Uitgangspunten voor de eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken

Bij het verkennen van mogelijkheden voor integratie van leerstofonderdelen biologie met die van natuurkunde en scheikunde gingen de onderzoeker en de docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College uit van de nieuwe eindexamenprogramma's van deze vakken.

De uitgangspunten die de vakontwikkelgroep biologie-natuurkunde-scheikunde hanteerde bij het ontwikkelen van de nieuwe examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken in de profielen 'Natuur en Gezondheid' en 'Natuur en Techniek' vloeien voor een deel rechtstreeks voort uit de door de stuurgroep beschreven opzet van de vernieuwde tweede fase havo/vwo (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1994a,b). De vakontwikkelgroep ging bij het ontwikkelen van de nieuwe examens uit van de bestaande programma's en besteedde veel aandacht aan het gemeenschappelijke in en de samenhang tussen deze programma's. Zij formuleerde tevens uitgangspunten die samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen kunnen bevorderen. Dit leidde tot een aantal vakgrensoverschrijdende afspraken. We geven hieronder een kort overzicht van de uitwerking van een aantal uitgangspunten door de vakontwikkelgroep.

Gemeenschappelijke contexten

De eindtermen in de nieuwe eindexamenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken dienen in realistische contexten te worden aangeleerd, toegepast en getoetst. Het onderwijs in de natuurwetenschappen in de tweede fase wordt daarom geplaatst in brede maatschappelijke en wetenschappelijke contexten, één daarvan is het gemeenschappelijke contextgebied 'gezondheid', waarbinnen het onderwerp 'het oog' valt.

Gemeenschappelijke opzet van het schoolexamendossier

Het nieuwe schoolexamen krijgt de vorm van een 'examendossier'. Eén van de onderdelen in het examendossier is het 'profielwerkstuk'. Dit is een opdracht waarbij leerlingen zelfstandig werken aan een natuurwetenschappelijk onderzoek en/of technisch ontwerp. Bij dit onderzoek zijn tenminste twee van de natuurwetenschappelijke vakken betrokken, met andere woorden: het werkstuk is vakgrensoverschrijdend.

4.4.2 Mogelijkheden voor integratie van leerstofonderdelen

Teneinde te komen tot een keuze voor integratie van leerstofelementen bij 'het oog', zijn - naast een overzicht van op elkaar aansluitende eindtermen van biologie en natuurkunde en scheikunde - ons inziens nog andere overwegingen van belang. Op basis van de literatuurstudie (hoofdstuk 2) en het Delphi-onderzoek (hoofdstuk 3) formuleerden we een aantal criteria voor de keuze van deelonderwerpen van het oog. In tabel 4.1 geven we een overzicht van deze criteria.

Tabel 4.1: Criteria waaraan deelonderwerpen zullen moeten voldoen.

- Het deelonderwerp is voldoende substantieel voor het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof.
- Het deelonderwerp bevat voldoende relevante vakgrensoverschrijdende leerstofelementen.
- Er zijn mogelijkheden voor behandeling in een natuurhistorische context.
- Het deelonderwerp heeft een maatschappelijk belang.
- Er zijn mogelijkheden om aan te sluiten bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen.
- Er zijn mogelijkheden voor demonstratie- en leerlingenpractica.
- Er zijn didactische argumenten voor de keuze van het deelonderwerp.
- Er zijn mogelijkheden voor uitbreiding van de samenwerking met andere vaksecties.

Op basis van de in tabel 4.1 genoemde criteria en de op elkaar aansluitende eindtermen, gaan we hieronder eerst na welke mogelijkheden er bestaan voor integratie van leerstofelementen bij het onderwerp 'het oog' tussen de vakken biologie en natuurkunde, gevolgd door die tussen biologie en scheikunde. We nemen daarbij steeds de eindtermen van het kernvak biologie als uitgangspunt. Daarna maken we nog enkele opmerkingen over integratie bij dit onderwerp tussen alle drie de natuurwetenschappen. Omdat de in de eindexamens geformuleerde eindtermen slechts een globale aanduiding geven van de te beheersen stof, maakten we voor een nadere invulling hiervan gebruik

van de meest gangbare leerboeken biologie en natuurkunde, namelijk: 'Biologie voor jou, 6V' (Landelijke Pedagogische Centra, 1994), 'Kreutzer Biologie voor bovenbouw vwo, 5V' (Oskamp, Van Bakkem & Groeman, 1990), 'Scoop Natuurkunde voor de bovenbouw 4/5 vwo' (Biezeveld & Mathot, 1990) en 'Systematische Natuurkunde voor bovenbouw vwo' (Middelink, 1990).

Het door ons gekozen onderwerp voor de ontwikkeling van een leerstofontwerp over het oog valt binnen het kernvak biologie in het domein 'Dynamiek en homeostase' en wel binnen de eindtermen van het subdomein 'Homeostase bij de mens'. Hieronder geven we een overzicht van de desbetreffende eindterm.

Eindterm 190 biologie vwo aangaande het oog binnen het subdomein: 'Homeostase bij de mens' (SLO, 1996a).

De kandidaat kan de werking van de ogen beschrijven en het totstandkomen uitleggen van:

- accommodatie,
- zien van kleuren en contrasten,
- de pupilreflex,
- zien van diepte,

waarbij gebruik kan worden gemaakt van een afbeelding van de bouw van de ogen.

We merken op dat het havo-eindexamenprogramma biologie betreffende het oog op de volgende punten afwijkt van het vwo. In het havo-programma ontbreekt het 'zien van diepte', maar zijn extra opgenomen: 'Enige afwijkingen van de ogen beschrijven en uitleggen wat er tegen kan worden gedaan (verziendheid, bijziendheid, staar)' en 'Aangeven dat gezichtsbedrog geen oogafwijking is, maar ontstaat in de hersenen'. Uit de inhoud van het eindexamenprogramma havo voor het oog blijkt overigens dat geïntegreerde leerstof over het oog voor vwo-leerlingen - na aanpassing - ook bruikbaar is voor havo-leerlingen.

Bij de andere natuurwetenschappen vinden we alleen in het natuurkunde-eindexamenprogramma eindtermen over het oog. Het scheikundeprogramma bevat alleen enkele onderdelen die zouden kunnen aansluiten bij onderwerpen uit de verrijkingstof van biologie, die niet tot de examenstof behoren. We geven hieronder een overzicht van de desbetreffende natuurkunde-eindtermen.

Eindterm 58 en 60 met betrekking tot het oog en het zien van het deelvak natuurkunde van de subdomeinen 'Licht' en 'Electromagnetisch spectrum' (SLO, 1996b).

De kandidaat kan de natuurkundige aspecten van het oog beschrijven (58):

- accommodatievermogen van de ooglenzen,
- diafragmafunctie van de pupil,
- nabijheidspunt, vertepunt,
- normaal-, ver-, bij-, en oudziend, bril, contactlens.

De kandidaat kan een overzicht geven van het electromagnetisch spectrum met voorbeelden en

toepassingen (60):

- verband tussen stralingssoort en frequentie,
- lichtsnelheid, golflengte, frequentie,
- frequentie en kleur.

Integratie tussen biologie en natuurkunde

Binnen het deelvak natuurkunde zijn de subdomeinen 'Licht' en 'Electromagnetische straling' van het domein 'Golven en straling' van belang voor het onderwerp 'het oog'. In de toelichting bij 'enkele natuurkundige aspecten van het oog' stelt de vakontwikkelgroep: 'Het is aan te bevelen om rekening te houden met het leerstofaanbod over het oog bij het vak biologie' (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a).

De eindtermen biologie 190 en natuurkunde 58 zijn nauw met elkaar verbonden. Een eerste deelonderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten biologie en natuurkunde zou dan ook kunnen zijn: 'aspecten van de geometrische optica'. Wanneer we dit deelonderwerp toetsen aan de criteria uit tabel 4.1, dan blijkt dat er bij dit deelonderwerp een aantal vakgrensoverschrijdende leerstofelementen voorhanden is. Behandeling van dit deelonderwerp in een natuurhistorische context is goed mogelijk bij de aspecten van 'optische hulpmiddelen' en een ziekte als 'staar' (Stilma & Voorn, 1993; zie 'Suggesties voor probleemtaken', bijlage 11). Wanneer we de criteria 'maatschappelijk belang', 'aansluiten bij leef- en denkwereld' en 'uitbreiding samenwerking' in aanmerking nemen dan kunnen we wijzen op het aspect 'gezichtsscherpte', waaronder te corrigeren slechtziendheid en te vermijden blindheid (zie 'Suggesties voor probleemtaken', bijlage 11). Verreweg het grootste deel van de oogafwijkingen - ook bij middelbare scholieren - betreft functieafwijkingen (Stilma & Voorn, 1993). Mede door de diversiteit aan correctiemogelijkheden staat het onderwerp 'oogafwijkingen' dicht bij de leefwereld van leerlingen. De mogelijkheden voor (experimentele) practicum- en demonstratieproeven zijn duidelijk aanwezig. Ten slotte dient de keuze van een deelonderwerp te worden ondersteund met didactische argumenten. In de praktijk blijkt dat bijvoorbeeld de geometrische optica door leerlingen en docenten een moeilijk onderwerp wordt gevonden. Dit blijkt ook uit didactisch onderzoek (Wubbels, 1986, 1987; Bouwens & Verkerk, 1988).

De eindterm biologie 190 en de eindterm natuurkunde 60 zijn eveneens aan elkaar gerelateerd. Een tweede deelonderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking kan dan ook zijn: 'het zien van kleuren'. Ook dit deelonderwerp voldoet aan de meeste criteria uit tabel 4.1, met name 'mogelijkheden voor practica'. Het criterium 'maatschappelijk belang' speelt ook bij dit deelonderwerp een belangrijke rol. Bij het aspect 'kleurenblindheid' kan tevens worden aangesloten bij de genetica.

Tot slot is het deelonderwerp 'de pupilreflex' geschikt. De eindtermen biologie 190 en natuurkunde 58 sluiten - zoals reeds gezegd - nauw op elkaar aan. Evenals bij de vori-

ge twee deelonderwerpen voldoet dit onderwerp aan de meeste criteria in tabel 4.1.

Samenvattend kunnen we zeggen dat bij 'het oog' tenminste drie deelonderwerpen zeer geschikt zijn voor integratie van leerstof.

Integratie tussen biologie en scheikunde

Bij integratie tussen de vakken biologie en scheikunde kunnen we aansluiten bij een onderwerp als 'optische hulpmiddelen'. Wanneer we denken aan brillen, contactlenzen en kunstlenzen, dan sluit bij het deelvak scheikunde het subdomein 'Toepassingen van synthetische polymeren' uit het domein 'Koolstofchemie' (SLO, 1996c) het meest aan bij het onderwerp 'het oog'. Behandeling in een natuurhistorische context (tabel 4.1) is hierbij goed mogelijk. Verder biedt een onderwerp als 'visuele pigmenten' mogelijkheden tot integratie van leerstof door aan te sluiten bij de eindterm betreffende isomerie.

Integratie tussen de drie natuurwetenschappen

Respondenten uit vraagronde-2 van de Delphi-studie (§ 3.5) merken op dat bepaalde onderwerpen uit de biologie bij uitstek geschikt zijn voor samenwerking tussen twee natuurwetenschappen (Beeftink, Koetsier & Voogt, 1995). Uit het voorgaande blijkt dat bij het onderwerp 'het oog' de mogelijkheden voor integratie van leerstof onderdelen uit biologie en natuurkunde aanmerkelijk groter zijn dan uit biologie en scheikunde. Toch menen we dat er ook mogelijkheden zijn voor samenwerking en integratie met betrekking tot alle drie de natuurwetenschappen, bijvoorbeeld in het kader van een profielwerkstuk. We denken daarbij met name aan het deelonderwerp 'aspecten van de geometrische optica', zoals hierboven beschreven. Bij de behandeling van dit deelonderwerp kunnen alle drie de natuurwetenschappen een aandeel leveren, met name bij het aspect 'optische hulpmiddelen'. Een aantal eindtermen in het subdomein 'Toepassingen van synthetische polymeren' van het deelvak scheikunde bevat namelijk nieuwe leerstof die onder meer 'optische hulpmiddelen' als toepassingsgebied heeft.

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag 'Wat is de inhoudelijke context voor het leerstofontwerp?', concluderen we dat er in de eindexamenprogramma's biologie en natuurkunde enkele op elkaar aansluitende eindtermen zijn over het oog. Op grond hiervan hebben we - aan de hand van een aantal criteria - enkele onderwerpen geselecteerd die geschikt zijn voor integratie van leerstofelementen uit deze vakken. Integratie van leerstofelementen uit biologie en scheikunde is alleen mogelijk bij enkele onderwerpen die niet tot de examenstof biologie behoren. Deze onderwerpen zijn eventueel bruikbaar als verrijkingsstof of als onderdeel van een profielwerkstuk.

4.5 Didactische context van het leerstofontwerp

In deze paragraaf motiveren we de keuze voor de didactische benadering in het leerstofontwerp. Daarmee geven we antwoorden op deelonderzoeksvraag: *‘Wat is de didactische context voor het leerstofontwerp?’*

De onderzoeker en de docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum kozen voor een probleemgestuurde opzet van het leerstofontwerp. In § 4.5.1 beschrijven we enkele aspecten van probleemgestuurd leren in het voortgezet onderwijs en in § 4.5.2 gaan we na in hoeverre een probleemgestuurde benadering aansluit bij het studiehuisconcept

4.5.1 Probleemgestuurd leren in het voortgezet onderwijs

Probleemgestuurd leren

Probleemgestuurd leren is een vorm van leren waarbij leerlingen binnen een domeinspecifieke en situatiegebonden context kennis verwerven aan de hand van aangeboden probleemsituaties. Deze situaties hebben een interdisciplinair karakter en zijn derhalve onafhankelijk van de inhoud van het onderwijs (Moust & Schmidt, 1995).

Probleemgestuurd leren in Nederland is in de zeventiger jaren ontwikkeld voor het medisch onderwijs aan de Rijksuniversiteit Limburg (zie Tiddens, Willighagen & Wijnen, 1975; Van der Vleuten & Wijnen, 1990; Snellen-Balendong, Wijnen & Langevoort, 1994; Dolmans, e.a. 1997). Probleemgestuurd leren heeft ruime toepassing gekregen binnen andere universitaire faculteiten en in het hoger beroepsonderwijs. Volgens Moust & Schmidt (1995) is deze benadering ook geschikt voor het voortgezet onderwijs.

Onderwijskundige doelen en effecten

Probleemgestuurd leren beoogt volgens Moust & Schmidt (1995) dat studenten kennis verwerven aan de hand van aangeboden probleemsituaties en dat zij een blijvende nieuwsgierigheid en een instelling verwerven om met leren door te gaan (‘éducation permanente’, ‘lifelong learning’). Om dit te bereiken worden de studenten voortdurend gestimuleerd actief met de leerstof bezig te zijn en moeten de leden van een leergroep - aanvankelijk tot op zekere hoogte en later helemaal - zelf bepalen wat de leerdoelen zijn die volgen uit hun besprekingen. Tevens moeten zij zelfstandig informatiebronnen aanboren en daarover in de groep rapporteren.

Volgens Lodewijks (1993) wijst onderzoek uit dat het aanzetten van lerenden tot eigen activiteiten en het zorgvuldig aansluiten bij hun persoonlijke voorkennis niet alleen effectief is en tot een dieper inzicht in de stof leidt, maar bij de lerenden ook de nodige tevredenheid teweegbrengt. Activeren van voorkennis door probleemanalyse in een

kleine groep bevordert de motivatie van studenten en levert een sterke bijdrage aan het begrijpen van probleemrelevante informatie. Bovendien stimuleert het analyseren van problemen hen tot het willen begrijpen van de verschijnselen die in een probleem worden aangereikt.

Bij probleemgestuurd leren wordt - door het aanbieden van de leerstof in de vorm van taken en door de actieve betrokkenheid van studenten - het integratieve denken aangemoedigd. Integratie van kennis uit de verschillende vakgebieden vindt grotendeels spontaan plaats. De studenten vergaren namelijk kennis die relevant is voor de aangeboden probleemsituatie zonder dat de grenzen van de verschillende disciplines daarbij een rol spelen (De Grave e.a., 1984; De Volder e.a., 1985, 1986; Dolmans & Snellen-Balendong, 1995; Schmidt, 1984; Schmidt e.a., 1989).

Visie op leren

Probleemgestuurd leren sluit nauw aan bij de hedendaagse leerpsychologische opvattingen over leren als een actief constructieproces (Shuell, 1986). In de eerste plaats wordt beoogd de voorkennis waarover de student beschikt te activeren (Machiels-Bongaerts & Schmidt, 1990). In de tweede plaats worden studenten in de gelegenheid gesteld de leerstof, al discussiërend, frequent te (her)structureren. Hierdoor wordt de organisatie van de kennis bevorderd. In de derde plaats bevordert probleemgestuurd leren bij de lerenden intrinsiek gemotiveerd studiegedrag. De leersituaties creëren als het ware een cognitief conflict in en tussen studenten. Dit cognitief conflict werkt als een katalysator om nieuwe informatiebronnen aan te boren die een antwoord kunnen geven op de geformuleerde vragen. Een factor die eveneens bijdraagt aan het verhogen van de intrinsieke motivatie is het gegeven dat studenten leren (studeren) in een context die verband houdt met hun latere beroepsuitoefening. Daardoor krijgt de lerende er zicht op waarom de aangeboden leerstof wordt aangereikt (Schmidt, 1993).

Rol van de docent

De docent houdt zich weinig bezig met kennisoverdracht. Kennisverwerving is primair de taak van de studenten zelf. Door het expliciteren van hun kennis tijdens de analyse- en rapportagefase krijgt de docent veelal snel een beeld van eventuele hardnekkige (naïeve) denkbeelden, moeilijk te verwerven inzichten en misvattingen die studenten hebben over de betreffende onderwerpen. De belangrijkste taak van de docent is het leerproces van de studenten te ondersteunen en de lerenden te helpen zelfstandig greep te krijgen op leervaardigheden.

Naast de meer op het leerproces van de studenten gerichte activiteiten vervult de docent ook een taak ten aanzien van de samenwerking tussen de studenten. De docent kan deze samenwerking bevorderen door tijdens de eerste groepsbijeenkomsten structuur aan te brengen in groepsactiviteiten en door bijvoorbeeld vast te houden aan gestructureerde werkprocedures als 'de zevensprong' (bijlage 8).

In de aard van de begeleiding door de docent zal zich gaandeweg een verandering aftekenen, waarbij de studenten steeds meer activiteiten van de docent zullen overnemen. Vermunt (1992) duidt deze wisselwerking tussen leeractiviteiten van studenten en onderwijsactiviteiten van docenten aan met de term 'procesgerichte instructie'. Er vindt een geleidelijke overgang plaats van externe naar interne sturing.

Onderwijsstructuur

Het probleemgestuurd leren heeft vier kenmerken, namelijk 'werken in kleine groepen aan taken', 'thematisch interdisciplinaire aanpak', 'grote nadruk op ontwikkeling van vaardigheden en vorming van attitudes' en 'regelmatige voortgangstoetsing'.

In een probleemgestuurd curriculum leren de studenten door te werken aan probleemtaken die deeluitmaken van een interdisciplinair thema. Twee of meer vakgebieden worden de studenten tegelijkertijd aangeboden, waardoor zij in een vroeg stadium in hun studie ontdekken dat bepaalde disciplines overeenkomsten en verschillen vertonen en dat voor het oplossen van problemen inzichten uit verscheidene kennisdomeinen noodzakelijk zijn (Schmidt & Moust, 1996).

Er zijn verschillende vormen van taken, zoals studie-, discussie-, toepassings-, strategie- en probleemtaken. In het kader van onze studie zijn de probleemtaken het meest relevant. Volgens Moust & Schmidt (1995) bestaat een probleemtaak uit een min of meer neutrale beschrijving van een aantal verschijnselen of gebeurtenissen, die in een zekere relatie met elkaar staan. Studenten krijgen de opdracht na te gaan hoe die verschijnselen met elkaar samenhangen, welke mechanismen ervoor verantwoordelijk zijn, hoe die mechanismen procesmatig verlopen en welke theorieën van toepassing zijn.

De bespreking van de taken vindt plaats in kleine groepen, volgens een bepaalde procedure (bijlage 8) en wordt begeleid door een docent. Na analyse van de in de probleemtaak aangereikte informatie proberen de groepsleden, op basis van hun voorkomen, een of meer verklaringen te geven voor de verschijnselen die in het probleem beschreven staan. Na deze fase rapporteren de studenten in een volgende bijeenkomst wat ze bestudeerd hebben en gaan ze na in hoeverre zij het probleem nu beter begrijpen.

Ontwerpend leren

Een nadeel van het traditionele biologieonderwijs is volgens Janssen & Voogt (1995) dat theorieën vaak worden gepresenteerd als feiten en niet als voorlopige of hypothetische antwoorden op bepaalde problemen. Leerlingen krijgen geen inzicht in het proces van theorieontwikkeling, omdat zij alleen worden geconfronteerd met de resultaten ervan. Ook krijgen zij geen inzicht in de wijze waarop biologen problemen proberen op te lossen. Verder krijgen leerlingen slechts een beperkt inzicht in de theorie. Dit inzicht kan volgens Janssen & Voogt worden vergroot wanneer leerlingen weten voor

welk probleem de theorie wordt verondersteld een oplossing te geven, wanneer zij alternatieve oplossingen herkennen en wanneer zij voor- en nadelen van verschillende oplossingen kunnen formuleren.

Ontwerpend leren is - als reactie op het traditionele biologieonderwijs - ontwikkeld voor het vak biologie in het voortgezet onderwijs. Het is een vorm van leren waarbij leerlingen kennis van (onderdelen van) biologische systemen - 'goede ontwerpen' - kunnen verwerven door deze opnieuw te ontwerpen (Janssen & Voogt, 1995).

Bij ontwerpend leren wordt kennis over structuren, functies en mechanismen voor biologische systemen aangeboden in termen van problemen en oplossingen (Janssen & Voogt, 1995, 1996). Oplossing van een probleem roept een nieuw probleem op enzovoort. Gebruikmakend van dit mechanisme kan een leerstofstructuur worden ontwikkeld die zodanig is opgebouwd uit problemen en oplossingen - in een voor leerlingen zinvolle context - dat een biologisch systeem opnieuw wordt ontworpen; een zogenoemde 'ontwerpende leerstofstructuur'. Voor leerlingen krijgt kennis verwerven zo het karakter van het opnieuw ontwerpen van (onderdelen van) een biologisch systeem. Onderzoeker en docenten wilden bij de ontwikkeling van het leerstofontwerp gebruikmaken van enkele elementen van het ontwerpend leren. Zij wilden aandacht besteden aan het karakter van biologische systemen, in dit geval het oog. Ook wilden zij een zodanige volgorde aanbrengen in de problemen binnen probleemtaken, dat gevonden oplossingen nieuwe problemen oproepen. Ten slotte wilden onderzoeker en docenten gebruikmaken van elementen uit de door Janssen & Voogt (1995, 1996) ontwikkelde procedure voor het hanteren van problemen (§ 4.9.2; bijlage 8).

4.5.2 Probleemgestuurd leren en het studiehuis

In deze paragraaf besteden we aandacht aan het studiehuisconcept. Basis voor het studiehuis is het 'zelfstandig leren'. Bollen (1995) spreekt van 'zelfregulerend leren', omdat leerlingen moeten leren hun eigen leerproces zelf te managen, te reguleren.

Zelfregulerend leren

Kenmerkend voor het 'zelfstandig leren' is het vermogen om zelf het leerproces te kunnen sturen. Het bevorderen van zelfstandig leren stelt een aantal eisen aan het didactisch handelen van docenten. Hieronder geven we een overzicht van de belangrijkste eisen. We baseren ons daarbij op Bollen (1995).

Tevens gaan we na in hoeverre het door onderzoeker en docenten van het Comenius College gekozen probleemgestuurd leren past in de studiehuisgedachte.

Duidelijkheid over het leerproces

Zelfregulerend leren binnen de studiehuisgedachte vereist duidelijkheid ten aanzien van leerdoelen, leertrajecten en verlangde prestaties van leerlingen. Voor de docent

betekent dit dat hij naar het leerprogramma moet kijken als het ware door de ogen van de leerlingen.

Ook bij probleemgestuurd leren is er veel aandacht voor duidelijkheid ten aanzien van de hierboven genoemde aspecten. Dit blijkt onder meer uit de zorgvuldig ontwikkelde procedure voor het hanteren van probleemtaken (bijlage 8).

Motiveren tot leren

Bij zelfregulerend leren is met name de intrinsieke motivatie van leerlingen van belang. Een goede ondersteuning door de docent schept een positief leerklimaat en kan stagnaties in een leerproces oplossen.

Volgens Schmidt (1993) lokt probleemgestuurd leren intrinsiek gemotiveerd studiegedrag bij leerlingen uit. Intrinsieke motivatie komt tot stand doordat leersituaties cognitieve conflicten oproepen en omdat het leren plaatsvindt in zinvolle contexten.

Reflectie op eigen leerproces

Het vermogen tot zelfregulerend leren wordt bevorderd door reflectie op het eigen leerproces. Volgens Bollen (1995) stimuleren klasgesprekken en samenwerking van leerlingen in groepen deze reflectie.

Ook bij probleemgestuurd leren speelt reflectie op het eigen leerproces - mede door de samenwerking in groepen - een belangrijke rol (vergelijk Dolmans & Snellen-Balendong, 1995).

Leren leren als onderwijsdoel

Bij zelfregulerend leren heeft de docent als hoofdtaak de leerlingen de wegen te wijzen waarlangs zij zelf inzicht kunnen verwerven in de leerstof. Om deze functie te kunnen vervullen, moet de docent inzicht hebben in leerprocessen van leerlingen.

Bij probleemgestuurd leren heeft de docent eveneens als belangrijkste taak de leerlingen te helpen zelfstandig greep te krijgen op leervaardigheden en leerprocessen en daarmee op de leerstof.

Belang van verschillende werkvormen

Bij zelfregulerend leren is het gebruik van verschillende werkvormen van belang. Volgens Bollen (1995) levert het opdelen van leertrajecten in delen waarbij leerlingen respectievelijk individueel, in groepjes en in klassikaal verband leren, een effectieve bijdrage tot de ontwikkeling van het zelfstandig leren van leerlingen.

Ook bij probleemgestuurd leren vinden we leren in groepjes, individuele leermomenten en klassikale evaluatie van gevonden resultaten. Leren in groepen heeft een positieve invloed op de leerresultaten van leerlingen. Het bevordert hun motivatie en het integra-

tieve denken. Bovendien levert werken in groepen een sterke bijdrage aan het leren selecteren van probleemrelevante informatie (De Grave e.a., 1984; De Volder e.a., 1985, 1986; Dolmans & Snellen-Balendong, 1995).

Kwaliteit van opdrachten

Bij zelfregulerend leren moeten opdrachten zodanig zijn geformuleerd dat de leerling zelf kan ervaren dat het vervullen ervan leidt tot een hogere beheersingsgraad van de betreffende leerstof. Deze ervaring kan de leerlingen volgens Bollen (1995) motiveren tot een volgende opdracht. Om dit te bereiken moeten volgens hem opdrachten aan een aantal kwaliteitseisen voldoen.

Bij probleemgestuurd leren moeten probleemtaken eveneens voldoen aan een aantal kwaliteitseisen (Schmidt & Moust, 1996, zie § 4.9.1). De strekking van deze eisen - met betrekking tot omvang en complexiteit van een taak - komt vergaand overeen met die voor opdrachten binnen het zelfregulerend leren.

Ook moeten taken aansluiten bij de belevings- en ervaringswereld van de leerlingen en geformuleerd zijn binnen een betekenisvolle context. Binnen de taken moet de mogelijkheid aanwezig zijn voor ontwikkeling van vaardigheden, zoals raadplegen van relevante informatie en zelfstandig gebruiken van hulpmiddelen (vergelijk Haitink, 1996).

Ontwikkeling naar zelfstandigheid

De bedoeling van het studiehuis is dat de leerling leert zelfstandig te leren. De ontwikkeling naar zelfstandigheid in het leerproces kan vanzelfsprekend slechts geleidelijk plaatsvinden. Volgens Bollen (1995) is zelfregulerend leren stapsgewijs te ontwikkelen via een fase van sterke structurering van het leerproces naar een fase van begeleid leren en ten slotte een fase van zelfstandig leren.

De procesgerichte instructie bij probleemgestuurd leren wordt eveneens gekenmerkt door een graduele overgang van externe naar interne sturing van het leerproces.

Samenvattend kunnen we zeggen dat de uitgangspunten van en werkwijze bij probleemgestuurd leren goed passen bij die van zelfregulerend leren. In probleemgestuurd leren wordt immers vormgegeven aan het idee van zelfregulerend leren.

We concluderen dan ook dat de gekozen probleemgestuurde benadering binnen het leerstofontwerp goed past bij de studiehuisgedachte voor de vernieuwde tweede fase van het voortgezet onderwijs.

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag '*Wat is de didactische context voor het leerstofontwerp?*', concluderen we dat probleemgestuurd leren een geschikte didactische benadering voor het leerstofontwerp is, omdat probleemgestuurd leren het actief en zelfstandig leren van leerlingen bevordert en daardoor goed aansluit bij het studiehuis-concept voor de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs.

4.6 Misconcepties betreffende het oog

Volgens respondenten uit de Delphi-studie kan integratie van vakken begripsontwikkeling bij leerlingen bevorderen. Omdat het bestaan van misconcepties bij leerlingen een remmende factor is voor begripsontwikkeling, deed de onderzoeker een vooronderzoek in de vakdidactische literatuur naar preconcepten bij leerlingen over ‘het zien’ en ‘het oog’. Het doel van dit vooronderzoek was het signaleren van het bestaan van misconcepties, teneinde bij het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof hiermee rekening te houden en maatregelen te treffen om deze terug te dringen.

In de volgende paragraaf zal aan de orde komen dat veel leerlingen er geen notie van hebben dat, om een voorwerp te kunnen zien, licht vanuit dit voorwerp het oog moet bereiken. Dit probleem speelt onder meer een rol in de probleemtaken over ‘scherp en onscherp zien’ en ‘accommodatie’ (§ 4.10). Bij de waarnemingen in deze probleemtaken kunnen bij leerlingen cognitieve conflicten ontstaan. Om de waarnemingen te verifiëren, geven onderzoeker en docenten mogelijkheden aan om lichtbundels zichtbaar te maken (bijlage 10), waardoor bij de leerlingen een ‘conceptual change’ kan worden bewerkstelligd.

De gangbare uitwerking van de leerstof over de geometrische optica laat een aantal hardnekkige misconcepties bij leerlingen voortbestaan, ook in de bovenbouw. Vanuit de natuurkundedidactiek zijn misconcepties met betrekking tot het oog en zien geïnventariseerd en zijn aanbevelingen gedaan voor leerstrategieën om deze misconcepties te vermijden c.q. te ontcrachten. In § 4.6.1 gaan we hierop in, terwijl we in § 4.6.2 enkele in de literatuur gevonden mogelijke oorzaken voor misconcepties beschrijven ten aanzien van de bouw van het oog. Hiermee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: *Welke misconcepties spelen een rol met betrekking tot het oog?*

4.6.1 Misconcepties in de optica

Wubbels (1986) geeft een overzicht van leerlingenideeën en voorstellingen in schoolboekteksten betreffende elementaire begrippen uit de geometrische optica. Volgens hem blijkt uit onderzoek dat de leerlingenideeën sterk geworteld zijn in het dagelijks spraakgebruik. Leerlingen zien bijvoorbeeld licht veelal als een verschijnsel dat overal in het leven aanwezig is. Het maakt net als lucht deel uit van onze dagelijkse omgeving; een opvatting van licht als iets statisch en niet als iets dat zich voortplant (La Rosa e.a., 1984).

Het meest op de voorgrond tredende kenmerk van leerlingenideeën op het gebied van de geometrische optica is het ontbreken van een koppeling tussen het licht dat op een voorwerp valt en het proces van het zien van dat voorwerp: het ‘decoupling concept’ (Jung, 1981). Veel leerlingen leggen spontaan geen verband (in fysische zin) tussen zien en het opnemen van licht door het oog (Guesne, 1984; Jung, 1981).

Het traditionele onderwijs in de geometrische optica blijkt er maar in geringe mate toe te leiden dat leerlingen zodanig inzicht krijgen in opvattingen uit de fysica over ‘licht’

en 'zien', dat zij deze ook gaan hanteren in situaties die niet in de natuurkundeles zijn behandeld (Jung, 1981; Andersson & Kärrqvist, 1983; Euler, 1982). Ook andere auteurs hebben gevonden dat misconcepties hardnekkig blijken te zijn en zelfs na instructie nog blijven bestaan (Ausubel, Novak & Hanesian, 1978; Trowbridge & McDermott, 1981; Clement, 1982; Gunstone, 1987; Yip, 1997).

De door Wubbels geanalyseerde schoolboeken lijken weinig rekening te houden met het bestaan van voorstellingen die strijdig zijn met fysische opvattingen en met de hardnekkigheid van die voorstellingen. De geringe aandacht voor 'het zien van voorwerpen' steekt volgens hem nogal af bij de grote aandacht voor 'het zien van lichtbronnen', terwijl leerlingen juist bij het zien van voorwerpen ('niet-lichtbronnen') minder geneigd zijn een verbinding te leggen met 'er komt licht in het oog' dan bij 'het zien van lichtbronnen'.

Volgens Wubbels (1986) verdient het - ter vermindering van misconcepties - de voorkeur om in de geometrische optica te spreken over 'het zien van voorwerpen' en niet over 'het zien van licht' zoals in het dagelijks leven gebruikelijk is.

Ook Bouwens & Verkerk (1988) hebben misconcepties in de optica geïnventariseerd bij leerlingen in het voortgezet onderwijs. Zij hebben hierbij ongeveer zeventig misvattingen gevonden. Bij de bovenbouwleerlingen zijn - ondanks optica-onderwijs in de onderbouw - nog misconcepties aanwezig. Ongeveer een derde van de leerlingen vindt het bijvoorbeeld niet noodzakelijk dat lichtstralen van het voorwerp in het oog van de waarnemer komen om het voorwerp te kunnen zien. Hoewel leerlingen de reflectiewetten kennen, weten ze deze kennis vaak niet toe te passen in praktische situaties. Bouwens & Verkerk komen tot de conclusie dat er een discrepantie bestaat tussen de theoretische kennis van de leerling en het vermogen om deze kennis te gebruiken in alledaagse situaties. De misvattingen blijken vooral op te treden wanneer de leerlingen problemen moeten oplossen aan de hand van situaties uit het dagelijkse leven.

Naar aanleiding van het hierboven beschreven misvattingenonderzoek doen Bouwens & Verkerk (1989) aanbevelingen over de inrichting van een optica-curriculum in de onderbouw, uitgaande van misconcepties. Deze aanbevelingen hebben volgens hen ook consequenties voor het optica-onderwijs in de bovenbouw, in het bijzonder voor de behandeling van de geometrische optica uit het eindexamenprogramma. Volgens hen is het aan laten sluiten van de nieuwe leerstof op de voorkennis van de leerlingen een onderwijsstrategie om misconcepties te bestrijden. Men kan de leerlingen dan actief confronteren met situaties uit de directe leefwereld van de leerlingen, waarin de oude concepten niet functioneren ('onvredetheorie').

Misvattingen ontstaan volgens Bouwens & Verkerk (1988) gemakkelijk wanneer er bij leerlingen geen duidelijk onderscheid is tussen begrippen die zij als latente voorkennis hebben en de alledaagse betekenis van het woord. Bij 'scherpte' van een beeld denken leerlingen bijvoorbeeld meer aan lichtsterke en contrastrijke afbeeldingen dan aan een samenvallen van beeldpunten met het netvlies.

Teneinde misvattingen te vermijden c.q. te ontkrachten en een juiste koppeling tussen alledaagse voorkennis van leerlingen en de fysische theorie te bewerkstelligen, doen

Bouwens & Verkerk (1989) suggesties voor een gestructureerde behandeling van onder meer het zien van voorwerpen en beeldvorming (bijlage 7).

Lijnse & Klaassen (1995) vragen zich af of er bij leerlingen in het voortgezet onderwijs werkelijk sprake is van misconcepties. Om deze vraag te kunnen beantwoorden analyseerden zij interpretaties van leraar- en leerlinguitspraken over een natuurkundig onderwerp aan de hand van een protocol. Zij concluderen dat er bij 'misconcepties' vaak sprake is van verschillen in interpretatie tussen docenten en leerlingen, die terug te voeren zijn op het gegeven dat zij 'elkaars taal' niet spreken (vergelijk Ten Voorde, 1990).

4.6.2 Misconcepties met betrekking tot het oog

In de voorgaande paragraaf besteedden we aandacht aan misconcepties in de optica en opvattingen over misconcepties.

In de wetenschappelijke literatuur wijst Yip (1997) erop dat - naast de manier waarop docenten hun onderwijs geven - de inhoud van de leerboeken ertoe kan leiden dat misconcepties bij leerlingen na instructie nog blijven bestaan (vergelijk Barras, 1984; Fisher & Lipson, 1986; Storey, 1990; Abraham e.a., 1992; Sanders, 1993). De leerboeken bevatten volgens de auteur namelijk nogal eens inaccurate en misleidende afbeeldingen van het oog en van de weergave van het verloop van lichtstralen. In hun onderwijs moeten docenten naar de mening van Yip meer rekening houden met het voorkomen van onvolkomenheden in de leerboeken. Ook moeten - zoals in de praktijk nogal eens voorkomt - docenten de leerstof niet aanbieden in de vorm van een verzameling van feiten. De leerlingen fungeren volgens de auteur in dat geval als 'passieve absorbeerders' van informatie en worden aangemoedigd de stof uit het hoofd te leren in plaats van te streven naar begrip (vergelijk HKEA, 1996).

In de Nederlandse vakliteratuur troffen we enkele artikelen aan waarin gewezen wordt op onvolkomenheden en fouten in de leerstof over het oog, onder meer foutieve doorsneden van het oog, onjuiste bijschriften bij figuren, onderdelen van figuren op onjuiste schaal en - als gevolg van een tendens tot reductie - onvoldoende relevante details in leerstof en bijschriften (Sikkema, 1986, 1987, 1989, 1991). Voorts vonden we in de meest gangbare leerboeken biologie en natuurkunde een aantal onnauwkeurigheden en onduidelijkheden met betrekking tot de werking van het oog (zie § 4.7).

We concluderen met betrekking tot de deelonderzoeksvraag *'Welke misconcepties bij het oog belemmeren een goede begripsvorming bij leerlingen?'*, dat er slechts een voorlopig antwoord op de deelonderzoeksvraag mogelijk is. We komen hier in § 4.8 op terug. Uit het voorgaande kunnen we alleen concluderen dat er bij leerlingen, met name op het terrein van de geometrische optica, een aantal misconcepties bestaat. Deze liggen vooral op het gebied van 'het zien van voorwerpen' en blijken zeer onderwijsresistent te zijn. Andere misconcepties 'lijken' te ontstaan door het onderwijs. Uit de literatuur blijkt dat het aansluiten bij de voorkennis van leerlingen en bij hun belevings- en

ervaringswereld een mogelijkheid is om deze misconcepties te vermijden.

4.7 Keuze van de vorm van het leerstofontwerp

In deze paragraaf maken we op grond van de in § 4.5 geschetste didactische benadering een keuze voor de vorm waarin het leerstofontwerp zal worden ontwikkeld. Hiermee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: *‘Welke consequenties heeft de didactische benadering voor de vorm van het leerstofontwerp?’*

In de Delphi-studie (§ 3.7) wezen we erop dat we de docenten een handreiking wilden bieden in de vorm van een leerstofontwerp en dat dit in zijn eenvoudigste vorm een studiewijzer voor geïntegreerde leerstof bij bestaande leerboeken kan zijn.

Samen met de docenten natuurkunde van het Comenius College in Hilversum onderzocht de onderzoeker de mogelijkheden voor het ontwikkelen van een studiewijzer, waarmee we ons rechtstreeks op docenten zouden richten. We analyseerden daartoe voor biologie en natuurkunde de leerstof over ‘het oog’ in de twee leerboeken met het hoogste marktaandeel, namelijk Biologie voor jou, 6V (Landelijke Pedagogische Centra, 1994); Kreutzer Biologie voor bovenbouw vwo, 5V (Oskamp, Van Bakkem & Groeman, 1990); Systematische Natuurkunde voor bovenbouw vwo, A (Middelink, 1990); en Scoop Natuurkunde voor de bovenbouw 4/5 vwo (Biezeveld & Mathot, 1990). Het gezamenlijk marktaandeel van zowel de beide biologieboeken als de beide natuurkundeboeken is volgens opgave van de desbetreffende uitgevers circa 75%.

Bij de analyse van deze boeken besteedden we met name aandacht aan de *functie* van het oog, een onderwerp dat zich goed leent voor een geïntegreerd leerstofaanbod. Hieronder duiden we de leerboeken - waar dit de overzichtelijkheid bevordert - aan met de twee beginletters van de titels, respectievelijk Bi, Kr, Sy en Sc.

Bij de analyse van de genoemde leerboeken gingen we eerst na of er inhoudelijke bezwaren zijn ten aanzien van het ontwikkelen van een studiewijzer.

In de eerste plaats wijzen we op het verschil in uitgebreidheid van de leerstof over het oog in de biologieboeken (Kr: 6 pagina’s; Bi: 29). In ‘Biologie voor jou’ worden diverse onderwerpen ter sprake gebracht die we in ‘Kreutzer’ niet aantreffen, zoals synthese en afbraak van rodopsine en de rol van vitamine A daarbij, een grafische weergave van de verdeling van staafjes en kegeltjes over het netvlies en gevoeligheidskrommen van de verschillende kegeltjestypen. Voorts treffen we in dit boek onderwerpen aan als diepte zien, gezichtsvelden bij mens en dier, optische baan en gevolgen van onderbreking van deze baan op verschillende niveau’s voor het zien. Verder bevat ‘Biologie voor jou’ een duidelijke samenvatting van de stof en een diagnostische toets met een aantal interessante (meerkeuze)vragen met duidelijke schema’s en figuren. We merken op dat deze uitbreidingen niet tot de examenstof behoren, maar wel kunnen bijdragen tot het inzicht in de oogfunctie bij leerlingen.

Bij de natuurkundeboeken zijn de verschillen in omvang van de leerstof veel minder groot (Sc: 12 pagina’s, Sy: 16). In ‘Scoop’ wordt wat meer verband gelegd tussen fysi-

sche en biologische aspecten. Zo wordt het scheidend vermogen van het oog in verband gebracht met de bouw van het netvlies en wordt bij donkeradaptatie de rol van rodopsine genoemd. Verder bevat 'Scoop' - naast opgaven - een aantal proeven die leerlingen kunnen uitvoeren, terwijl de oefenstof in 'Systematische natuurkunde' bestaat uit vragen en opgaven waarbij de leerlingen voornamelijk berekeningen moeten maken.

Daarnaast vonden we in alle onderzochte leerboeken een aantal onnauwkeurigheden en minder correcte formuleringen. We geven daarvan hieronder enkele voorbeelden. We merken daarbij op dat de geconstateerde onnauwkeurigheden kunnen worden verbeterd en als zodanig het ontwikkelen van een studiewijzer niet in de weg staan. We vonden diverse - op zichzelf niet onjuiste - omschrijvingen van het begrip accommodatie, maar een heldere definitie van accommodatie ontbrak. In het biologieboek van Kreutzer komt onder 'accommodatie' bijvoorbeeld eerst het accommodatiemechanisme aan de orde. Vervolgens wordt het nabijheidspunt besproken en de ligging hiervan bij het verouderende oog. Daarna vinden we in de tekst de volgende zinsnede: 'Een scherp beeld van een voorwerp op het netvlies ontstaat doordat door reflexen de bolling van de ooglenzen wordt aangepast aan de afstand van het voorwerp tot het oog.' Op zichzelf is dit een goede omschrijving van accommodatie. Wanneer leerlingen gevraagd wordt een definitie van accommodatie te geven, dan zullen zij de genoemde zinsnede tussen de overige gegevens niet snel als zodanig herkennen. Voorts zijn de formuleringen over accommodatie in de natuurkundeboeken wat summier en soms onnauwkeurig. Zo wordt vermeld dat de ooglenzen in rust afgeplat gehouden wordt door een ring van draden, die door een spier een kleinere straal kan krijgen (Sc) en is in een schematische figuur van het accommodatieproces de diameter van de geaccommodeerde lens niet kleiner getekend dan die van de ongeaccommodeerde (Sy, fig. 376a,b). We merken op dat alleen in 'Biologie voor jou' aandacht wordt besteed aan de 'antagonist' van de accommodatiespier. Leerlingen hebben bijvoorbeeld bij de behandeling van de skeletspieren of de locomotie van de regenworm al kennis gemaakt met het begrip antagonisme. In het oog fungeert het elastische vaatvlies - gesteund door de oogdruk - als antagonist van de accommodatiespier. Het vaatvlies oefent een tractie uit op het straallichaam en zo via de lensbandjes op het elastische lenskapsel waardoor de lens wordt afgeplat (Veringa e.a., 1984; vergelijk Grüsser, 1976). De auteurs van 'Biologie voor jou' vermelden dat - na ontspanning van de accommodatiespier - de diameter van het straallichaam vergroot wordt door de druk van het glasachtig lichaam. Dit zou volgens hen mogelijk zijn omdat de druk in het glasachtig lichaam groter is dan die in de voorste oogkamer, de ruimte tussen hoornvlies en lens. Het glasvocht is echter een optisch heldere hydrogel met een watergehalte van 98%, zodat niet is aan te nemen dat de druk hierin sterk zal afwijken van die in de voorste oogkamer. Bovendien neemt bij accommodatie vrijwel uitsluitend de kromming van het voorvlak van de lens toe. Dit is het gevolg van de specifieke constructie van het elastische lenskapsel en van het feit dat de achterwand van de lens is bevestigd in een uitholling van het glasachtig lichaam. In 'Scoop' wordt gesteld dat bij een mens het accommoderen hoort te lukken

van oneindig ver weg tot zo'n 25 cm van het oog. Omdat uit de context blijkt dat het gaat om het normale oog, is deze uitspraak onduidelijk. Het normale oog accommodeert 'op oneindig' niet, dit is pas nodig binnen een afstand van ongeveer 5 meter. De auteurs van dit boek hadden voor de duidelijkheid beter kunnen vermelden dat 'oneindig ver weg' voor het oog al begint op een afstand van tenminste 5 meter. De ligging van het nabijheidspunt is afhankelijk van de leeftijd. De genoemde afstand van 25 cm is bijvoorbeeld juist voor een 45-jarige. Bij een 16-jarige leerling ligt dit punt gemiddeld op een afstand van 8 cm. Verder wordt de term 'ouderdomsverziendheid' slechts gebruikt in één van de biologieleerboeken (Bi). In het andere biologieboek wordt het fenomeen wel beschreven maar er wordt geen term aan verbonden (Kr). In de natuurkundeboeken spreekt men van 'oudziendheid'. Deze term is wel een letterlijke vertaling van 'presbyopie', maar wordt niet door beroepsbeoefenaars zoals oogartsen en optometristen gehanteerd. In één van de natuurkundeboeken (Sy) wordt ouderdomsverziendheid overigens gerangschikt onder 'oogafwijkingen' evenals bijziendheid en verziendheid, terwijl het afnemen van de elasticiteit van de lens een aspect is van de fysiologische veroudering van het oog en als zodanig geen oogafwijking is.

Op het gebied van beeldvorming vonden we ook een aantal onnauwkeurigheden en onduidelijkheden. In een figuur in 'Biologie voor jou' over de beeldvorming in het oog is het optisch centrum van het brekend systeem verkeerd aangegeven en is het omgekeerde netvliesbeeld even groot als het voorwerp getekend. Dit laatste zou alleen kunnen als het voorwerp gesitueerd is op een afstand van het hoornvlies overeenkomend met de dubbele brandpuntsafstand, namelijk circa 3 cm. Van een voorwerp op deze afstand kan nooit een scherp beeld op het netvlies worden gevormd, omdat bij jonge kinderen het nabijheidspunt al op een afstand van ongeveer 7 cm van het hoornvlies ligt. Het netvliesbeeld zal dus altijd verkleind zijn. Voorts vermelden de auteurs van dit boek dat bij een verziend persoon het brandpunt van de maximaal geacommodeerde oog achter het netvlies ligt. In de bijbehorende figuur is bij het verziende oog echter het voorwerpspunt op dezelfde afstand van het oog aangegeven als bij het normale oog. Omdat wordt gesproken over maximale accommodatie valt het voorwerpspunt in beide gevallen kennelijk samen met het nabijheidspunt van het normale oog. Bij een verziend oog ligt het nabijheidspunt in de regel verder van het oog dan bij een normaal-ziend oog. In de figuur ligt bij de verziende het voorwerpspunt dus dichterbij het oog dan het nabijheidspunt. In dat geval ligt bij elk oog het beeldpunt bij het maximaal geacommodeerde oog achter het netvlies.

De functieafwijkingen bijziendheid en verziendheid worden meestal veroorzaakt door een afwijkende oogaslengte; brekingsafwijkingen komen veel minder voor. 'Kreutzer' gaat bij de bespreking van functieafwijkingen uit van een afwijkende oogaslengte. De overige leerboeken noemen beide oorzaken zonder verder commentaar. De figuren in 'Biologie voor jou' zijn wel gebaseerd op een afwijkende oogaslengte. De figuren over functieafwijkingen in de natuurkundeboeken zijn erg schematisch. Oogaslengte en lenskromming verschillen niet van die van het normale oog. In één van de natuurkundeboeken (Sy) wordt de ooglens slechts aangeduid met een lijn.

Een leerstofaanbod met de hierboven gesignaleerde onnauwkeurigheden en onduidelijkheden kan leiden tot misconcepties bij leerlingen. Het verdient aanbeveling deze tekortkomingen te verbeteren. In de praktijk blijkt overigens dat docenten onvolkomenheden in leerboeken veelal wel signaleren en de leerlingen er ook op wijzen.

We merken op dat de bovengenoemde inhoudelijke bezwaren het ontwikkelen van een studiewijzer wel bemoeilijken, maar er geen onoverkomelijke hinderpaal voor vormen.

Naast bovengenoemde inhoudelijke bezwaren in leerboeken met betrekking tot 'het oog', zijn er ook didactische bezwaren tegen het ontwikkelen van een studiewijzer. De leerboeken vertonen namelijk een grote uniformiteit in de wijze waarop de leerstof wordt aangeboden. De auteurs van deze boeken gaan ervan uit dat de voornaamste rol van de docent bestaat uit het overdragen van kennis. Veelal staan de antwoorden op vragen die bij de leerlingen zouden kunnen rijzen al in de tekst. De activiteiten van de leerlingen zijn beperkt tot het beantwoorden van vragen en het maken van opgaven nadat de stof door de docent is behandeld. Deze wijze van aanbieden van de leerstof doet geen recht aan de door ons gekozen didactische benadering voor het leerstofontwerp. Zoals uit de voorgaande paragraaf blijkt, willen we uitgaan van een probleemgestuurde benadering voor het leerstofontwerp, waarbij de leerlingen zelfstandig en actief bezig zijn met het oplossen van probleemtaken. Voorts sluit de leerstof over het oog in de geanalyseerde leerboeken onvoldoende aan bij de leefwereld van leerlingen. Functieafwijkingen van het oog - zoals bijziendheid en verziendheid - sluiten goed aan bij de leefwereld van de leerlingen. Deze afwijkingen komen in de geanalyseerde leerboeken echter pas ter sprake wanneer het normale oog is behandeld. Bouwens (1988) is van mening dat - ter vermijding van misconcepties - het normale oog en het oog met functieafwijkingen meer in een vergelijkend perspectief ter sprake moeten komen. Dit betekent dat functieafwijkingen een goed uitgangspunt kunnen vormen bij het aan de orde stellen van onderwerpen uit de geometrische optica.

We concluderen dat het maken van een studiewijzer op een aantal didactische bezwaren stuit. Een belangrijk bezwaar is dat de opzet van de geanalyseerde leerboeken leerlingen te weinig uitnodigt tot actief en zelfstandig werken, zoals van hen wordt gevraagd in het studiehuis in de nieuwe tweede fase. Voorts kan de gepresenteerde leerstof in de geanalyseerde leerboeken aanleiding geven tot misconcepties. We wijzen bijvoorbeeld op het feit dat er meer aandacht zou kunnen worden besteed aan 'het zien van voorwerpen' in plaats van 'het zien van licht'. Verder zou een benadering waarbij leerlingen eerst experimenten uitvoeren en daaruit hun conclusies trekken wellicht begripsvorming bij hen sterker bevorderen.

Een studiewijzer bevat aanwijzingen voor het bestuderen van de volledige leerstof van een onderwerp in leerboeken. Met name het hanteren van de door onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen gekozen probleemgestuurde benadering bij de te ontwikkelen geïntegreerde leerstof over 'het oog', zou een vrijwel totale herschrijving

vergen van de bestaande hierop betrekking hebbende leerstof in de schoolboeken biologie en natuurkunde. Het aanpassen van de complete leerstof van 'het oog' aan de gekozen didactische uitgangspunten was - in het kader van een promotieonderzoek - geen reële optie. Daarom besloten onderzoeker en docenten zich in de praktijkstudie niet te richten op de 'docenten-voor-de klas', maar op deskundigen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers van natuurwetenschappelijke schoolboeken en docenten die tevens deel uitmaken van een auteursteam van schoolboeken (in het vervolg aangeduid als 'planniveau'). Dit betekende dat zij in de praktijkstudie een leerstofontwerp - een blauwdruk - moesten ontwikkelen ten behoeve van dergelijke externe deskundigen. Het karakter van een blauwdruk impliceert dat het hierbij niet zozeer gaat om een concrete en gedetailleerd uitgewerkte onderwijsleersituatie in de klas, maar om het maken van een schets van de globale leerinhoud met bijbehorende didactische aanpak (vergelijk Reygel, 1997). Een dergelijke aanpak leek wel een haalbare optie voor dit promotieonderzoek. Daarom besloten onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College een leerstofontwerp te ontwikkelen met geïntegreerde leerstof van biologie en natuurkunde of scheikunde over 'het oog' als voorbeeld (in het vervolg aangeduid als 'exemplarisch') voor het planniveau en daarbij één thema uit de leerstof gedetailleerd uit te werken. Tevens gingen zij ervan uit dat een dergelijk leerstofontwerp een vernieuwend karakter dient te hebben ten aanzien van inhoud en aanpak.

Met het ontwerpen van geïntegreerde leerstof wilden onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum laten zien dat een team van natuurwetenschappers in samenwerking geïntegreerde leerstof kan ontwikkelen.

We concluderen met betrekking tot de deelonderzoeksvraag *'Welke consequenties heeft de didactische benadering voor de keuze van de vorm van het leerstofontwerp?'*, dat een didactische benadering als probleemgestuurd leren niet aansluit bij de opzet van de huidige leerboeken van de natuurwetenschappen. Het bleek dan ook niet mogelijk een studiewijzer te ontwikkelen voor het integreren van leerstof uit bestaande leerboeken. Als alternatief werd daarom gekozen voor het ontwikkelen van een voorbeeld van geïntegreerde leerstof - volgens de probleemgestuurde aanpak - over het ontwerp 'het oog' bestemd voor deskundigen van het planniveau.

4.8 Didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp

Op basis van de in § 4.5 beschreven probleemgestuurde opzet trokken onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College hun conclusies ten aanzien van de didactische uitgangspunten voor het exemplarische leerstofontwerp. In § 4.8 beschrijven we deze uitgangspunten. Daarmee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: *'Welke didactische uitgangspunten zijn gehanteerd bij het ontwikkelen van het ontwerp van geïntegreerde leerstof?'*

In tabel 4.2 geven we een overzicht van de gekozen didactische uitgangspunten ten aanzien van het exemplarische leerstofontwerp. Daarbij geven we steeds aan uit welke benadering(en) het uitgangspunt (hoofdzakelijk) afkomstig is.

Tabel 4.2: Didactische uitgangspunten voor het exemplarische leerstofontwerp. Achter de uitgangspunten staat steeds vermeld aan welke benadering ze zijn ontleend, namelijk: Pgl, ontleend aan 'probleemgestuurd leren'; Owl, ontleend aan 'ontwerpend leren'. Twee uitgangspunten zijn afkomstig uit andere bronnen.

- Hanteren van een vakgrensoverschrijdende aanpak (Pgl)
- Hanteren van een duidelijke procedure voor het omgaan met probleemtaken (Owl, Pgl)
- Toepassen van diverse werkvormen (Owl, Pgl)
- Ontwikkelen van vaardigheden (Pgl)
- Rekening houden met het proces van theorieontwikkeling (Owl)
- Bevorderen van intrinsiek gemotiveerd studiegedrag (Pgl)
- Beschouwen van biologische systemen als functionele organisaties (Owl)
- Rekening houden met procedures binnen biologisch wetenschappelijk onderzoek (Owl)
- Leren zelfstandig biologische kennis te verwerven (Owl)
- Leren zelfstandig problemen te genereren en op te lossen (Owl)
- Adequaat leren functioneren in groepsverband (Pgl)
- Aandacht besteden aan procedurele taken van de docent (Owl, Pgl)
- Problemen in een realistisch herkenbare context plaatsen (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995a)
- Rekening houden met misconcepties (Wubbels, 1986; Bouwens & Verkerk, 1988)

Ten slotte kozen onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College bij de benadering van de werking van het normale oog, voor functieafwijkingen van het oog als vertrekpunt voor het formuleren van problemen (vergelijk Beefink, Oosterink & Oosterink-bij de Vaate, 1996). Zij zijn van mening dat deze benadering de interesse van leerlingen wekt, hun motivatie verhoogt en een positieve invloed heeft op hun begripontwikkeling. De context 'zien' heeft een hoog realiteitsgehalte en is nauw verbonden met de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen. Zij worden immers dagelijks geconfronteerd met optische hulpmiddelen zoals brillen en contactlenzen. Functieafwijkingen zijn in Nederland tevens de meest voorkomende oogafwijkingen. Functieafwijkingen lenen zich volgens onderzoeker en docenten bovendien goed voor de probleemgestuurde aanpak van het leerstofontwerp, onder meer in verband met de mogelijkheid voor practica. Uit het project 'De blauwe dood' bij het vak geschiedenis in het voortgezet onderwijs blijkt dat leerlingen zeer gemotiveerd zijn voor een thematische aanpak van leerstof vanuit het oogpunt van gezondheid en ziekte (Van Pelt, 1994). Dit project betreft een natuurhistorische benadering van de overgang van 'nachtwakersstaat' naar 'verzorgingsstaat' aan de hand van het voorbeeld van een cholera-epidemie in de negentiende eeuw.

Hieronder geven we een nadere motivering voor de keuze van functieafwijkingen in relatie tot het normale oog bij het formuleren van problemen over de geometrische optica.

Funcctieafwijkingen en misconcepties

Bij het normale - zonder hulpmiddelen scherp ziende - oog is sprake van een onderlinge afstemming van variabelen als oogaslengte, kromming van de brekende oppervlakken van hoornvlies en ooglens en brekingsindex van de media (Duke-Elder, 1970). Een dergelijke afstemming van variabelen is kenmerkend voor biologische systemen. De in leerboeken gangbare benadering van de functie van het normale oog en het oog met functieafwijkingen kan aanleiding geven tot misconcepties bij leerlingen (§ 4.6), omdat de auteurs van deze boeken te weinig aandacht besteden aan het oog als biologisch systeem.

Bouwens (1988) vermeldt dat in de meeste natuurkundeboeken bij de behandeling van bijziendheid, verziendheid en ouderdomsverziendheid geen systematische vergelijking wordt gemaakt, noch van deze afwijkingen onderling noch van deze afwijkingen met het normale oog. Volgens hem is een gevolg hiervan dat leerlingen bijvoorbeeld het verschil tussen (over)verziendheid en ouderdomsverziendheid niet begrijpen, omdat beide afwijkingen door een positieve lens gecorrigeerd kunnen worden. Verder wijst hij erop dat leerlingen menen dat toenemende ouderdomsverziendheid bij een bijziende zou kunnen leiden tot een stadium waarop deze helemaal geen bril meer nodig heeft. Dit is onjuist omdat afnemende accommodatie op zich geen invloed heeft op de ligging van het vertepunt. We merken hierbij op dat Bouwens bijziendheid en verziendheid alleen als refractieafwijking behandelt, terwijl deze afwijkingen gewoonlijk op een afwijking van de oogaslengte berusten.

Bouwens (1988) ziet als voornaamste reden voor de geschetste misvattingen dat leerlingenteksten bij de beschouwing van functieafwijkingen van het oog te sterk uitgaan van een statisch beeld van het oog, zonder daarbij het accommodatievermogen van de ooglens te betrekken. Hij pleit er dan ook voor het normale oog en het oog met functieafwijkingen meer in een vergelijkend perspectief te bezien. Deze opvatting wordt ondersteund door het feit dat verreweg de meeste gevallen van functieafwijkingen van het oog niet zijn gebaseerd op pathologische structuurveranderingen. Functieafwijkingen zijn gewoonlijk louter varianten rond een gemiddelde van variabelen die we aantreffen bij het normale oog. Bij het ontstaan ervan spelen erfelijke- en omgevingsfactoren en ontwikkelingsstoornissen op jonge leeftijd een rol.

Onderzoeker en docenten wilden bij de ontwikkeling van de probleemtaken over monoculaire beeldvorming het oog nadrukkelijk beschouwen als een biologisch systeem en vanuit dat perspectief het normale oog en het oog met functieafwijkingen met elkaar vergelijken.

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag *'Welke didactische uitgangspunten zijn gehanteerd bij het ontwikkelen van het ontwerp van geïntegreerde leerstof?'*, concluderen we dat het mogelijk was een aantal van de in tabel 4.2 genoemde didactische uitgangspunten te hanteren. Deze didactische uitgangspunten werden voornamelijk afgeleid uit de theorie van probleemgestuurd leren. De uitgangspunten bleken geschikt om

te komen tot concrete vormkenmerken voor het leerstofontwerp. Door uit te gaan van functieafwijkingen van het oog kunnen volgens onderzoeker en docenten misconcepties worden vermeden.

4.9 Wijze van uitwerking van het leerstofontwerp

In deze paragraaf beschrijven we de wijze waarop het leerstofontwerp werd gerealiseerd. Daarmee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: *'Op welke wijze vond de uitwerking van het leerstofontwerp plaats?'*

In § 4.9.1 bespreken we aspecten van de constructie van probleemtaken. In § 4.9.2 gaan we in op de wijze waarop onderzoeker en docenten probleemtaken willen hanteleren. Ten slotte beschrijven we in § 4.9.3 in hoofdlijnen de wijze waarop het leerstofontwerp werd uitgewerkt.

4.9.1 Constructie van probleemtaken

In een probleemgestuurd curriculum(onderdeel) leren de leerlingen aan de hand van taken die hen door de docenten worden aangereikt en die passen binnen een thema dat de leerlingen gedurende een bepaalde onderwijsperiode bestuderen. Dit thema is interdisciplinair van aard, waardoor zij in een vroeg stadium van hun studie ontdekken dat bepaalde disciplines overeenkomsten en verschillen vertonen en dat voor het oplossen van problemen, inzichten uit verschillende kennisdomeinen noodzakelijk zijn. Naast de taken ontvangen de leerlingen een inleiding hierop en een overzicht van relevante bronnen (Schmidt & Moust, 1996). Schmidt & Gijssels (1990) kwamen tot de conclusie dat hoe hoger de kwaliteit van de taken is, hoe meer tijd de leerlingen besteden aan zelfstudie en hoe meer belangstelling zij ontwikkelen voor het bestudeerde thema. Volgens deze auteurs is de kwaliteit van taken de belangrijkste variabele in probleemgestuurde curricula. Hieronder geven we een overzicht van de door Schmidt & Moust (1996) beschreven vuistregels voor het construeren van probleemtaken, die onderzoeker en docenten wilden volgen. Deze vuistregels sluiten aan bij de volgende leerpsychologische karakteristieken van probleemgestuurd leren: aansluiten bij en activeren van de voorkennis, stimuleren van een betere kennisorganisatie door frequente bewerking van informatie, en stimuleren van intrinsieke belangstelling voor het te bestuderen onderwerp.

** Een probleem bestaat uit een titel, een tekst en een instructie*

Een titel biedt de context voor een probleem en geeft vaak de sleutel tot wat de kern van het probleem is.

De tekst van een probleem bestaat uit een neutrale beschrijving van de verschijnselen of gebeurtenissen die moeten worden verklaard, verwoord in concrete termen en 'gewo-

ne taal'. Problemen moeten niet worden volgestopt met allerlei concepten en terminologie uit bepaalde vakdomeinen. Het probleem moet aansluiten bij het voorkennisniveau van de leerlingen, zodat zij het onmiddellijk kunnen begrijpen. De tekst van een probleem moet kort en niet te complex zijn en moet slechts een beperkt aantal aanwijzingen ('cues') bevatten. Bij teveel aanwijzingen analyseren en rapporteren de leerlingen te oppervlakkig. Leerlingen leren het meeste van problemen die net iets boven hun kennisniveau liggen. De ontwerper van de problemen moet een leersituatie creëren waarbij een zekere mate van discrepantie bestaat tussen datgene wat leerlingen al weten en wat hen wordt voorgelegd.

De instructie bestaat uit de opdracht dat de leerlingen de beschreven en/of waargenomen verschijnselen moeten verklaren.

Bij het ontwerpen van een probleemtaak moet de constructeur er rekening mee houden dat problemen leerlingen als het ware in een 'cognitieve conflictsituatie' moeten brengen. De leerlingen moeten zich afvragen: 'Zit het nou zus of zo?' Voor de door hen bedachte verklaringen moeten in de analysefase relevante argumenten te bedenken zijn. Schmidt & Moust (1996) geven hiervan enige voorbeelden. Zo kunnen in een probleem enige partijen worden beschreven die verschillend reageren op eenzelfde situatie. Voorts kan in een probleem een 'tegenintuïtieve' situatie worden beschreven. Bij de lezer moet de taak als het ware direct een gevoel oproepen van: 'Dat kan toch niet! Ik dacht dat het zo zat.' Verder kunnen in een probleem verschillende situaties van hetzelfde fenomeen worden weergegeven. Ook kunnen in een probleem verschillende verschijnselen worden beschreven die bij de leerlingen de natuurlijke behoefte oproepen tot verklaring.

** In een probleem dient er een zeker evenwicht tussen openheid en geslotenheid te zijn*

In het verlengde van de vorige vuistregel geldt dat een probleem de leerlingen tot een beperkt aantal leerdoelen moet leiden. Wanneer leerlingen naar aanleiding van een probleem teveel kennisdomeinen moeten bestuderen, raken zij overbelast in die zin, dat ze niet goed in staat zijn een duidelijke organisatie van hun kennis tot stand te brengen. Problemen moeten ook niet zo nauw omschreven worden dat het enige en centrale probleem onmiddellijk in het oog springt. Zowel te breed geformuleerde als te nauw omschreven problemen lokken weinig diepgaande activering van voorkennis aan de hand van analyse van deze problemen uit.

** Fouten bij het construeren van probleemtaken*

Hiervoor noemden we al een aantal 'fouten' die bij het ontwikkelen van probleemtaken kunnen worden gemaakt, namelijk: een te complex probleem aanbieden, een probleem dat te veel sturing geeft of een probleem dat niet aansluit bij de voorkennis van de leerlingen. Schmidt & Moust (1996) noemen nog twee categorieën van veel gemaakte fouten.

ten.

Verschillende taaktypen worden met elkaar vermengd

Ontwerpers van probleemtaken zijn soms geneigd verschillende taaktypen als studie-, toepassings-, en probleemtaken met elkaar te verbinden. Dit is voor leerlingen geen bezwaar wanneer maar duidelijk is wat er van hen wordt verwacht met betrekking tot wat ze moeten bestuderen en hoe ze een taak moeten aanpakken. Deze duidelijkheid is volgens deze auteurs niet altijd voldoende aanwezig.

Té veelzeggende titels

Soms maken constructeurs van taken wel eens de fout om in de titel van de taak aan te duiden waarover de leerlingen moeten praten. Het gesprekskader wordt dan teveel voorgeschreven.

4.9.2 Procedure voor het hanteren van probleemtaken

Onderzoeker en docenten baseerden zich bij het ontwikkelen van een procedure voor het hanteren van probleemtaken op de door Moust & Schmidt (1995) ontworpen procedure voor probleemgestuurd leren in het voortgezet onderwijs (bijlage 8). Tevens maakten zij gebruik van enkele elementen uit de werkwijze bij het ontwerpend leren (bijlage 8). De reden hiervoor is dat de procedure voor probleemgestuurd leren - ontwikkeld voor het Hoger Onderwijs (Moust & Schmidt, 1995) - enkele kenmerken vertoont die zij voor toepassing in het leerstofontwerp minder geschikt achten. We bespreken hieronder kort deze kenmerken en geven daarbij de door onderzoeker en docenten gekozen oplossingen. We duiden daarbij 'probleemgestuurd leren' aan met Pgl en 'ontwerpend leren' met Owl, voorzien van het nummer uit de desbetreffende procedure (bijlage 8, tabel 1 en 2). Onderzoeker en docenten vonden het zinvol om aan het uitdelen van probleemtaken (Pgl1) een korte introductie van de probleemtaak vooraf te laten gaan (Owl1). Voorts wilden zij het aantal leerlingen per leergroep (Pgl1: 6; Owl3: 2-4) laten afhangen van de concrete situatie in de klas. Teneinde leerlingen zoveel mogelijk bij het oplossen van een probleem te betrekken, vonden onderzoeker en docenten het wenselijk dat leerlingen - alvorens de oplossing van een probleem in de leergroep te bespreken (Pgl2) - individueel hun oplossingen noteren (Owl2). Onderzoeker en docenten wilden de procedure van de zevensprong (Pgl2a-f) enigszins vereenvoudigen door het weglaten van de onderdelen 'het clusteren van ideeën' (Pgl2d) en 'afspraken maken over zelfstudie/onderzoek' (Pgl2e-f). Onder meer omdat het uitvoeren van probleemtaken afhankelijk is van de mogelijkheden die het lesrooster biedt, meenden zij dat deze onderdelen in de situatie van het voortgezet onderwijs niet goed te realiseren zijn. Onderzoeker en docenten handhaafden 'het raadplegen van bronnen' (Pgl4), hoewel de uitvoering binnen de school problematisch kan zijn. Daarom achtten zij het vooralsnog noodzakelijk dat de betreffende docent zorgt voor de aanwezigheid van relevante informatie in het klaslokaal (vergelijk Owl6 en 'De bibliotheek in het studie-

huis', Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1996).

In tabel 4.3 vatten we de kenmerken samen van de door onderzoeker en docenten uiteindelijk gekozen procedure voor het hanteren van probleemtaken.

Tabel 4.3: Kenmerken van de procedure voor het hanteren van probleemtaken in het exemplarisch leerstofontwerp. Achter elk kenmerk is aangegeven uit welke procedure het afkomstig is, aangegeven met 'Owl' (ontwerpend leren, Janssen & Voogt, 1995) en 'Pgl' (probleemgestuurd leren, Moust & Schmidt, 1995) (bijlage 8).

1. De docent introduceert de probleemtaak en deelt deze uit aan de leerlingengroepen (Owl).
2. Leerlingen bedenken individueel één of meer oplossingen voor het probleem en noteren deze op een werkblad en/of geven de oplossing aan in een voorgedrukt 'oogschema'.
Leerlingen krijgen de opdracht te zoeken naar de optimale oplossing. Dit is de eenvoudigste oplossing die tevens de minste nadelige effecten heeft voor het organisme (Owl).
3. Leerlingen bespreken hun oplossingen in de groep (Owl, Pgl).
De docent en de technisch onderwijsassistent kunnen bij de diverse groepen beluisteren welke ideeën de leerlingen aandragen voor het oplossen van het probleem.
4. De docent inventariseert de gevonden oplossingen - eventueel met hun nadelen - en schrijft deze op het bord (Owl).
5. De docent kan leerlingen in de gelegenheid stellen bronnen te raadplegen om de door hen gevonden oplossingen te verifiëren c.q. aan te vullen (Pgl).
6. De docent bespreekt samen met de leerlingen de gevonden oplossingen.
Wanneer geen van de leerlingen de 'juiste' oplossing heeft gevonden, probeert de docent door het stellen van vragen of het formuleren van subproblemen de leerlingen alsnog de juiste oplossing te laten vinden (Owl).
7. De docent geeft de juiste oplossing en verschaft de leerlingen de terminologie die wetenschappers hanteren (Owl).
8. Na afloop van de les wordt (eventueel) lesmateriaal uitgedeeld met huiswerkopdrachten.
In dit lesmateriaal staan het probleem en de 'juiste' oplossing vermeld met een toelichting. Bij de huiswerkopdrachten moeten leerlingen de verworven kennis toepassen in nieuwe situaties (Owl).

Ten slotte is voor een goed onderwijsleerproces van belang dat de docent en de leerlingen uitgaan van een gemeenschappelijke basis. Een gemeenschappelijke inhoudelijke basis bevat (voor)kennis, maar ook interessen, wensen, en dergelijke. De (voor)kennis is gemeenschappelijk wanneer leerlingen en docent het erover eens zijn (Klaassen, 1995).

4.9.3 Uitwerking van het leerstofontwerp in hoofdlijnen

Onderzoeker en docenten van het Comenius College kozen voor de uitwerking van het exemplarisch leerstofontwerp over het oog drie deelonderwerpen, namelijk 'aspecten van de geometrische optica', 'de pupilreflex' en 'het zien van kleuren' (§ 4.4.2). Elk deelonderwerp bevat een aantal thema's waarbinnen een aantal subthema's is geformuleerd. Gezien de exemplarische aard van het leerstofontwerp werkten onderzoeker en docenten ten behoeve van deze studie één thema van het eerste deelonderwerp volledig

uit in de vorm van probleemtaken en deden zij suggesties voor de uitwerking van de overige thema's genoemd in § 4.10.1 (tabel 4.4; bijlage 11). Zij meenden hiermee voldoende aanwijzingen te hebben gegeven voor collega's, deskundigen uit de verzorgingsstructuur en schoolboekschrijvers om zelf probleemtaken te kunnen ontwikkelen. Docenten en onderzoeker ontwikkelden tijdens het ontwerpproces gezamenlijk een aantal 'nieuwe' practicum- en demonstratieproeven - proeven die gewoonlijk niet in de schoolboeken voorkomen - waarbij zij gebruik maakten van gegevens uit de medische en natuurwetenschappelijke vakliteratuur. Tevens testten zij gezamenlijk deze demonstratie- en leerlingenproeven op hun bruikbaarheid. De onderzoeker heeft de proeven ook laten uitvoeren door leerlingen van 4-vwo, 5-vwo en 4-havo die zijn EHBO-lessen volgden. Ten slotte raadpleegde de onderzoeker externe deskundigen op het gebied van (vak-)didactiek, biologie, natuurkunde, scheikunde, oogheelkundige fysica en oogheelkunde en verwerkte hun commentaren.

Bij het uitwerken van de probleemtaken hielden onderzoeker en docenten rekening met de in § 4.8 geformuleerde didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp en met de in § 4.9.1 beschreven vuistregels voor het construeren van probleemtaken. De probleemtaken bevatten een aantal problemen met opdrachten van beperkte omvang. De volgorde van de problemen is zodanig gekozen dat ze een logische sequentie vormen. Bij elke probleemtaak en bij elk probleem geven we naast de leerlingentekst informatie en geformuleerde doelen voor docenten.

Het bevorderen van zelfstandigheid van leerlingen in het studiehuis, impliceert dat ook zij vooraf bekend zouden moeten zijn met de doelen van hun onderwijsactiviteiten. Het vooraf bekend maken van inhoudelijke doelen zoals voor de docent, verdraagt zich echter niet met de probleemgestuurde benadering van taken, omdat daarmee de oplossing van problemen wordt 'weggegeven'. De vooraf geformuleerde doelen voor leerlingen zouden betrekking moeten hebben op een ander niveau, bijvoorbeeld 'leren zelfstandig - individueel en in groepen - problemen op te lossen'. Voor leerlingen betekent dit dat het aanvankelijke doel is 'het individueel en in groepen oplossen van de in de leerlingenteksten geformuleerde problemen via opdrachten en experimenten'. Met behulp van deze opdrachten en experimenten moeten leerlingen inzicht verwerven in de betrokken leerstof. Deze stof wordt in het eindexamen echter op theoretisch niveau afgevraagd. Dit betekent dat leerlingen een theoretisch concept moeten ontwikkelen op basis van de door hen uitgevoerde opdrachten en experimenten.

Om de verantwoordelijkheid voor het eigen leren bij leerlingen te stimuleren, zouden docenten daarom aan het eind van elke probleemtaak moeten aangeven wat leerlingen uit de betreffende reeks van problemen hebben moeten leren door hen bijvoorbeeld een diagnostische toets aan te bieden. Om een docent in de gelegenheid te stellen een probleemtaak uit te breiden, ontwikkelden onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College ook enkele voorbeelden van keuzeopdrachten. Een docent kan deze opdrachten aanbieden, omdat leerlingen in het onderwerp geïnteresseerd zijn, als extra oefening of als toets. Aan het eind van een (sub)thema is verrijkingsstof toegevoegd. Deze verrijkingsstof is niet uitgewerkt in de vorm van proble-

men met opdrachten. Deze stof bevat aspecten die geschikt zijn voor uitdieping van de thema's en kan dienen als basis voor een profielwerkstuk of een 'klein wetenschappelijk onderzoek' (Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs, 1995c).

We merken op dat de opzet van de probleemtaken moet worden beschouwd als een eerste stap op de weg naar probleemgestuurd leren. Om de aansluiting bij het onderwijsveld niet te verliezen, zijn binnen de probleemtaken een aantal problemen geformuleerd die gestructureerd worden aangeboden. In onze visie is het gefaseerd aanbieden van probleemgestuurd leren aan leerlingen die voor het eerst hiermee kennis maken, noodzakelijk. Gaandeweg kunnen meer complexe en minder gestructureerde problemen worden aangeboden, waarbij de docent een minder sturende rol vervult (vergelijk 'de stapsgewijze ontwikkeling van zelfstandig leren' in § 4.5.2). Wat betreft het oog biedt een aantal opdrachten in bijlage 11 'Suggesties voor probleemtaken' hiervoor mogelijkheden. Bij andere thema's denken we aan te formuleren probleemtaken ten behoeve van de verplichte, interdisciplinaire profielwerkstukken. Op den duur zullen de leerlingen steeds meer leerfuncties van de docent kunnen overnemen. Zij kunnen bijvoorbeeld de aangeboden informatie analyseren, hypothesen opstellen, leerdoelen formuleren en nieuwe informatie verzamelen. Ook Dolmans & Snellen-Balendong (1995) wijzen erop dat er bij de introductie van probleemgestuurd leren bij eerstejaars medische studenten moet worden gewaakt voor het aanbieden van te complexe taken. Dergelijke taken kunnen studenten volgens hen niet oplossen zonder een (te) intensieve interventie van de docent. Zij bevelen aan binnen een probleemtaak aanvankelijk een aantal meer eenvoudige problemen te formuleren (vergelijk Moust & Schmidt, 1995).

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag '*Op welke wijze vond de uitwerking van het leerstofontwerp plaats?*', concluderen we dat we bij het construeren van probleemtaken gebruik konden maken van een aantal aan het probleemgestuurde leren ontleende vuistregels. Voor het hanteren van probleemtaken in de praktijk ontwierpen we een procedure bestaande uit elementen afkomstig uit probleemgestuurd en ontwerpend leren. Gezien de keuze voor het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof als voorbeeld voor het planniveau, werkten we één thema van de gekozen deelonderwerpen volledig uit en gaven we voor de overige thema's van de deelonderwerpen suggesties voor het ontwikkelen van probleemtaken.

4.10 Leerstofontwerp

In deze paragraaf beschrijven we het exemplarische leerstofontwerp over het oog, zoals ontwikkeld door de onderzoeker in samenwerking met een aantal docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College te Hilversum. Daarmee beantwoorden we deelonderzoeksvraag: '*Welke vorm heeft het leerstofontwerp gekregen?*'

Voorafgaand aan het ontwerp geven we in tabel 4.4 een overzicht van de gekozen

deelonderwerpen en thema's van de leerstof over het oog (§ 4.4.2 en § 4.9.3). In dit overzicht staan de deelonderwerpen c.q. thema's in de volgorde waarin zij in het onderwijs aan de orde moeten komen. Hierbij worden de bouw en werking van het oog en de basisoptica als bekend verondersteld. Deze onderwerpen worden behandeld door respectievelijk de biologie- en de natuurkundedocenten.

De in tabel 4.4 genoemde leerstofonderdelen over het oog komen in grote trekken overeen met de hierop betrekking hebbende eindtermen uit de eindexamenprogramma's biologie en natuurkunde (respectievelijk 190, en 58 en 60, zie § 4.4.2). In een examenprogramma zijn deze eindtermen globaal geformuleerd. De in de eindtermen genoemde onderwerpen zijn dan ook niet nader gepreciseerd. De interpretatie van de inhoud van deze onderwerpen komt tot stand via de hierop betrekking hebbende eindexamenopgaven. De inhoud van het leerstofontwerp - inclusief de suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) - is zodanig dat leerlingen voldoende inzicht kunnen verwerven om nieuwe problemen over het oog die hen worden voorgelegd op het examen, via transfer van kennis op te lossen.

Tabel 4.4: Overzicht van thema's binnen de deelonderwerpen 'aspecten van de geometrische optica', 'pupilreflex' en 'zien van kleuren'.

Deelonderwerp 'aspecten van de geometrische optica'

- | | |
|---|--|
| Thema 'zien met één oog' (Monoculaire beeldvorming) | - Scherp en onscherp zien: bijziendheid, van scherp naar onscherp |
| | - Accommodatie: accommodatie op afstand, accommodatie dichtbij, verziendheid, het oudere oog |
| Thema 'zien met twee ogen' (Binoculaire beeldvorming) | - Diepte zien met twee ogen |
| | - Coördinatie en fusie |

Deelonderwerp 'pupilreflex'

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Thema 'pupildiameter' | - Pupildiameter en beeldkwaliteit |
| | - Pupildiameter en licht |

Deelonderwerp 'zien van kleuren'

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| Thema 'kleurenzien' | - Kleuren sorteren |
| | - Kleuren mengen |
| Thema 'kleurenblindheid' | - Iedereen is kleurenblind |

Ten behoeve van deze studie werkten onderzoeker en docenten gezamenlijk één van de vijf thema's uit, namelijk het thema 'zien met één oog' (monoculaire beeldvorming). Hun suggesties voor de uitwerking van de overige thema's genoemd in tabel 4.4, zijn beschreven in bijlage 11. Deze bijlage bevat ook suggesties voor enkele probleemtaken die niet binnen de bovenstaande thema's vallen.

Thema monoculaire beeldvorming

Binnen het thema 'zien met één oog' (tabel 4.4) onderscheidden onderzoeker en docenten om redenen van praktische aard twee subthema's, namelijk 'scherp en onscherp zien' en 'accommodatie', die zij beide uitwerkten in de vorm van een probleemtaak.

Subthema 'scherp en onscherp zien'

Het subthema 'scherp en onscherp zien' is beperkt tot 'het zien op afstand', een afstand van tenminste vijf meter. Accommodatie speelt op deze afstand namelijk geen rol bij het normale of het door een juiste bril gecorrigeerde oog.

In de probleemtaak 'scherp en onscherp zien' komen bijziendheid en normaal zien ter sprake in een vergelijkend perspectief, waarbij het bijziende oog wordt gezien als een biologische variant van het normale oog. Functieafwijkingen zijn het gevolg van structuurafwijkingen in het oog, waarbij de anatomische variabelen niet goed op elkaar zijn afgestemd. De opdrachten bij de problemen bieden leerlingen de gelegenheid waarnemingen te doen en metingen te verrichten. De functieafwijking bijziendheid leent zich goed voor het doen van metingen door leerlingen, waardoor hun inzicht in het functioneren van het normale oog kan worden verdiept.

Informatie voor de docent

In dit overzicht voor de docent geven we enige achtergrondinformatie. We merken op dat we - ter verduidelijking en om eventuele vragen van leerlingen te kunnen beantwoorden - gebruik maken van een aantal in de oogheelkunde en de biofysica van het oog gebruikelijke wetenschappelijke termen (Hollwich, 1989; Stilma & Voorn, 1993). In de probleemtaken komen deze termen overigens niet ter sprake.

Er zijn diverse methoden om de gezichtsscherpte te bepalen. Meestal wordt de gezichtsscherpte op subjectieve wijze bepaald, namelijk met behulp van een leeskaart (bijlage 9). Met behulp van deze kaart kunnen de leerlingen hun gezichtsscherpte bepalen bij verschillende verlichtingssterkte, met of zonder bril, met extra lenzen enzovoort. Tevens kunnen zij hun waarnemingen bij verschillende opdrachten vergelijken.

Met het 'normale oog' bedoelen we het oog waarmee zonder correctie - met hulpmiddelen als bril en contactlenzen - zowel in de verte als dichtbij scherp kan worden gezien. Dit oog is zogenaamd Emmetroop, afgeleid van het Griekse eu-metroop, 'van de goede maat'. Bij een Emmetroop oog zijn brekend systeem en oogaslengte goed op elkaar afgestemd.

De oogas of optische as is een lijn lopend door het optisch centrum van hoornvlies en lens en het hoofdbrandpunt van de lens. Bij het normale oog is de oogaslengte, gemeten tussen hoornvlies en netvlies, gemiddeld 24 mm. Parallel van een voorwerp uitgaande lichtstralen vormen een beeldpunt in het vlak van het netvlies. We merken op dat ogen met een zwakker brekend systeem en een grotere aslengte en tegengesteld, dus ook Emmetroop kunnen zijn. Variatie in oogstructuren kan dus gepaard gaan met een goed gezichtsvermogen, mits deze structuren goed op elkaar zijn afgestemd. Emmetropie is dus functioneel en optisch gemakkelijker te definiëren dan anatomisch.

Wanneer een goede onderlinge afstemming tussen de oogstructuren ontbreekt, dan kan het oog niet Emmetroop zijn. We spreken dan van functieafwijkingen. Functieafwijkingen zoals - bij- en verziendheid - noemen we ametropieën, omdat hier het brekende systeem en de oogaslengte niet goed op elkaar zijn afgestemd. Het beeldpunt van parallel door de pupil binnentredende stralen ligt dan ook niet op het netvlies. Gewoonlijk berusten bij- en verziendheid - zeker de hogere graden - op afwijkingen in de oogaslengte, zogenaamde as-ametropieën. Brekingsafwijkingen (refractie-ametropieën) komen veel minder voor. Overigens kan een ametropie ook het gevolg zijn van een combinatie van een as- en een brekingsafwijking.

Bij 'het zien op afstand' bedoelen we met 'afstand' een zodanige afstand dat accommodatie geen rol speelt; het oog is dan 'in rust'. Deze afstand ligt bij het normale oog 'op oneindig'; in de praktijk een afstand van tenminste 5 meter. De lichtstralen die van een voorwerp vanaf deze afstand door de pupil het oog binnentreden, kunnen als evenwijdig invallend worden beschouwd. We merken op dat we met

'scherp zien' in dit verband 'duidelijk zien' bedoelen. Het scherp zien van een regel op de leeskaart betekent dat leerlingen elke letter van deze regel onmiddellijk goed kunnen lezen.

Voor het tekenen van stralengangen hebben de leerlingen werkbladen nodig met standaardschema's van het zogenaamde 'gereduceerde oog' - in het vervolg aangeduid met 'oogschema' - met daarin opgenomen de oogas, een positieve lens ('het brekend systeem') en het netvlies ('het scherm') op brandpuntsafstand van de ongeaccommodeerde ooglenzen. De ooglenzen moet niet als een lijn worden getekend maar met voor- en achtervlak en een matige kromming, omdat in sommige opdrachten deze kromming moet worden gewijzigd. Bij de bespreking van de bouw en de werking van het oog is aandacht besteed aan de mogelijkheid van toename van de lenskromming, waardoor het brekend vermogen toeneemt (accommodatie).

Bij lichtbreking in het oog denken leerlingen in de eerste plaats aan de ooglenzen. Het gebruik van oogschema's bevordert deze gedachte, omdat daarin het hoornvlies - vanwege het constante brekend vermogen - niet is aangegeven. Het is van belang de leerlingen erop te wijzen dat het hoornvlies verreweg het grootste aandeel heeft in het brekend systeem van het oog, namelijk ongeveer 40 dioptrieën. De ongeaccommodeerde ooglenzen leveren ongeveer 20 dioptrieën.

In de oogschema's valt de oogas samen met (een deel van) de hoofdas van het brekende systeem. Het voorwerp wordt gerepresenteerd door een 'voorwerpspunt' op de hoofdas en het beeld door 'het beeldpunt' op de oogas.

We merken op dat bij de beeldvorming elk voorwerpspunt een divergente bundel uitzendt die vervolgens via het brekend systeem weer tot één punt convergeert. Volgens Bouwens & Verkerk (1989) verdient het aanbeveling bij de beeldvorming te werken met lichtbundels vanuit een voorwerpspunt in plaats van met lichtstralen en bij de beeldvorming veel lichtbundels te gebruiken (bijlage 7). Bij de bespreking van de basisoptica door de natuurkundeleraars en bij de uitwerking van bepaalde probleemtaken over het oog, kan deze benadering de begripsvorming bij leerlingen bevorderen. In de opdrachten over de geometrische optica gaat het echter voornamelijk om het bepalen van de plaats op de oogas van de beeldpunten van lichtbundels die het oog binnentreden. De leerlingen maken daarbij gebruik van een 'gereduceerde lichtbundel', namelijk een tweedimensionaal beeld ervan, waarbij alleen de begrenzing en het hart van de bundel worden aangegeven. Zij bepalen daarom de genoemde beeldpunten met behulp van enkele constructiestralen, zoals hen dit bij de basisoptica is geleerd.

We merken op dat lichtbundels gemakkelijk kunnen worden zichtbaar gemaakt in een fluoresceïne-oplossing. Met behulp van lenzen en een diafragma kunnen leerlingen vrijwel elke opdracht bij de problemen in de probleemtaken aanschouwelijk maken (zie bijlage 10: 'Zichtbare lichtbundels'). Goede leerlingen kunnen wellicht zelf nieuwe experimenten bedenken en uitvoeren.

Probleemtaak A: 'Scherp en onscherp zien'

Deze probleemtaak gaat over het scherp en onscherp zien op afstand. De betekenis van de plaats van het beeldpunt daarbij wordt verduidelijkt aan de hand van de functieafwijking 'bijziendheid' en door het toepassen van lenzen. Bij het formuleren van problemen binnen deze probleemtaak streefden we naar het voorkomen van misconcepties bij leerlingen ten aanzien van 'beeldscherpte' (§ 4.6, § 4.8). Een gesignaleerd preconcept bij leerlingen is namelijk dat zij bij 'scherp zien' eerder denken aan lichtsterke en contrastrijke beelden dan aan een samenvallen van beeldpunten met het netvlies.

We formuleerden voor deze probleemtaak de volgende doelen: *Leerlingen begrijpen dat het al dan niet op het netvlies vallen van het beeldpunt essentieel is voor scherp en onscherp zien. Bij het normale oog zijn sterkte van de ooglenzen en lengte van de oogas op elkaar afgestemd. Leerlingen begrijpen dat het oog als biologisch systeem bepaalde individuele variaties in bouw vertoont en dat deze variaties niet behoeven te leiden tot*

functieafwijkingen van het oog. Leerlingen begrijpen dat het corrigeren van functieafwijkingen - 'constructiefouten' in het optische systeem - 'het verschuiven van het beeldpunt naar het netvlies toe' betekent.

Probleem A1: 'Scherpe ogen'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen zich gaan realiseren dat de vorming van een scherp beeld op het netvlies een kwestie van afstemming is tussen lenssterkte en oogaslengte.

Box 4.1: 'Scherpe ogen'. Leerlingentekst bij probleem A1.

'Scherpe ogen'

Introductie

Normale ogen zien allemaal scherp. De vraag is of het noodzakelijk is dat ze ook exact dezelfde bouw hebben.

Probleem

In een oogheelkundige kliniek wordt een aantal normaal-ziende proefpersonen onderzocht. Men doet verschillende metingen bij hen. Met behulp van een leeskaart wordt hun gezichtsscherpte bepaald bij het zien op afstand. Het blijkt dat de gezichtsscherpte van deze proefpersonen uitstekend is en bovendien onderling nauwelijks verschillen vertoont. Vervolgens meet men bij hen met behulp van zogenaamde echografie de oogaslengte, de afstand tussen hoornvlies en netvlies. Het blijkt dat de oogaslengte niet bij alle proefpersonen even groot is, maar varieert van 23-25 mm.

Wanneer je - als normaal-ziende - je eigen oogas 1 mm langer zou kunnen maken, zou je op afstand beslist niet meer scherp kunnen zien.

Opdracht

Verklaar het verschijnsel dat proefpersonen met verschillende oogaslengte toch even scherp kunnen zien. Teken in (gewijzigde) oogschema's de stralengang van proefpersonen met een oogaslengte van respectievelijk 23, 24 en 25 mm. Je tekent eerst de gang van de lichtstralen bij een oogaslengte van 24 mm, het gemiddelde bij normaal-ziende volwassenen. Je mag ervan uitgaan dat het oogschema op deze lengte is gebaseerd.

Informatie voor de docent

De proefpersonen zien scherp. Het beeldpunt valt dus op het netvlies. De lenssterkte moet dus verschillen. Leerlingen kunnen dit aangeven door in het oogschema de lens meer of minder bol te tekenen. Hoe langer de oogas is, hoe zwakker de lens moet zijn, omdat de proefpersoon anders bijziend zou zijn. Bij de opdrachten nemen we aan dat de hoornvlieskromming geen rol speelt.

De sterkte van lenzen wordt uitgedrukt in dioptrieën. Een lens met een sterkte (brekend vermogen) van 1 dioptrie heeft een brandpuntsafstand van 100 cm. De sterkte van een lens - uitgedrukt in dioptrieën - is gelijk aan 100 gedeeld door de brandpuntsafstand in centimeters. Een lens van 3 dioptrieën heeft dus een brandpuntsafstand van 33 cm.

Als we bij een normaal-ziende de oogas 1 mm zouden kunnen verlengen, betekent dit een bijziendheid van 3 dioptrieën. Een even grote verkorting van de oogas levert een verziendheid van 3 dioptrieën op. Het knooppunt - het optische centrum - van het brekend systeem (hoornvlies en ooglens) valt namelijk vrijwel samen met het snijpunt van het achtervlak van de lens met de hoofdas. De afstand van dit

knooppunt tot het netvlies - de brandpuntsafstand van het brekend systeem - is circa 17 mm, overeenkomend met een lenssterkte van ongeveer 59 dioptrieën. De lenssterkte bij een brandpuntsafstand van 18 mm bedraagt ongeveer 56 dioptrieën.

Probleem A2: 'Slechte ogen?'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat een bril dragen (meestal) niet het hebben van slechte ogen - 'ogen met een ziekte' - betekent. Leerlingen begrijpen tevens dat er verschil is tussen een functieafwijking ten gevolge van een structuurafwijking - een variant van het normale oog - en een oogziekte. Zij begrijpen ook dat slecht zien bij een oogziekte berust op een pathologische verandering van oogstructuren, zoals veranderingen in het netvlies door suikerziekte of lenstroeblingen als gevolg van staar.

Box 4.2: 'Slechte ogen?' Leerlingentekst bij probleem A2.

'Slechte ogen?'

Introductie

Veel mensen menen dat een bijziende die de letters op de leeskaart zonder bril pas op 50 cm scherp ziet, slechte ogen heeft. Vaak wordt bijziendheid pas opgemerkt op de schoolleeftijd. Een bril drager is natuurlijk niet leuk. Daarbij komt dat medeleerlingen of leraren soms zeggen: 'Moet jij een bril hebben? Dan heb je zeker slechte ogen.'

In ontwikkelingslanden zien veel jongeren slecht als gevolg van oogziekten. Door gebrek aan vitamine A bijvoorbeeld kan het hoornvlies gaan ontsteken. Op den duur leidt dit tot blindheid.

De vraag is of we bij bijziendheid ook kunnen spreken van 'slechte ogen?' Hierover gaat het volgende probleem.

Probleem

Op een afstand van 5 meter zien Yvonne en Wouter zonder bril de letters op de leeskaart niet duidelijk. Yvonne kan de bovenste regel van de kaart nog wel lezen maar Wouter niet. Ze lopen naar de kaart toe. Pas op een afstand van ongeveer 1 m ziet Yvonne alle letters tot en met regel 7 goed scherp. Wouter nog niet; hij ziet deze regels pas scherp op een afstand van ongeveer 20 cm. 'Scherp zien op afstand' betekent dus voor Yvonne en Wouter scherp zien 'op een korte afstand'. De afstand tot het vertepunt van hun oog - het verst gelegen punt dat zonder accommodatie nog scherp te zien is - is dus te meten. Leerlingen zoals Yvonne en Wouter noemen we 'bijziend', zij zien zonder bril in de verte onscherp, maar dichterbij even scherp als normaal-zienden.

Opdracht

Verklaar dat Yvonne en Wouter zonder bril in de verte niet en op korte afstand wel scherp kunnen zien. Teken in oogschema's de stralengang in het oog van Yvonne en Wouter wanneer zij zonder bril scherp zien. Bij deze opdracht mag je de kromming van de lens in de oogschema's niet veranderen. Geef tot slot een gemotiveerd antwoord op de vraag of bijziendheid een oogziekte is.

Informatie voor de docent

Waarnemingen met behulp van de leeskaart (zie bijlage 9) moeten plaats vinden bij daglicht of normale lokaalverlichting. De leerlingen bekijken de leeskaart met één oog (monoculaire beeldvorming). Bij verschil in gezichtsscherpte kiezen zij het beste oog. Teneinde de registratie van de waarnemingen te

vergemakkelijken is het aan te bevelen de regels van de leeskaart te nummeren.

Normaal-zierende leerlingen zien regel 7 (gezichtsscherpte 1) - en soms ook nog 8 - van de op het Comenius College gebruikte leeskaart nog scherp op 5 m afstand. Bij normaal-zienenden ligt het vertepunt per definitie op oneindige afstand. Hierbij treedt een evenwijdige lichtbundel de pupil binnen. Zoals gezegd is dit ook al (ongeveer) het geval op een afstand van ongeveer 5 meter, maar het vertepunt is gedefinieerd als het verst weg gelegen punt dat zonder accommodatie zichtbaar is. Bij bijzienden ligt het vertepunt op eindige afstand en is dus meetbaar. Dit is de reden waarom we bij probleemtaak A kozen voor de functieafwijking 'bijziendheid'. Wanneer we in de opdrachten spreken van bril, bedoelen we ook contactlenzen.

Omdat Yvonne en Wouter - respectievelijk op een afstand van 1 m en 20 cm - scherp zien, moet bij de beeldvorming het beeldpunt dan op het netvlies liggen. Omdat de afstand van de proefpersonen tot de kaart niet tenminste 5 meter is, maar veel minder, lopen in het oogschema de lichtstralen van de letters op de kaart naar het oog dan ook niet evenwijdig maar divergent. De lichtstralen naar het oog van Wouter - met de sterkste afwijking - divergeren het meest, omdat hij om scherp te kunnen zien het dichtst bij de kaart moet staan. In het oogschema staat het netvlies op brandpuntsafstand van de lens. Het beeldpunt van evenwijdige lichtstralen valt daarbij op het netvlies. Wanneer de brekende kracht van de ooglenzen gelijk blijft, zal het beeldpunt van een divergente bundel alleen op het netvlies vallen bij een grotere oogaslengete dan in het normale oog. De leerlingen moeten in het oogschema de oogas dus langer maken door het netvlies op te schuiven en wel meer naarmate de lichtstralen sterker divergeren. Dit laatste is het geval bij Wouter, die het dichtst bij de leeskaart moet staan om regel 7 nog scherp te zien en dus de sterkste functieafwijking heeft.

We merken op dat de docent ook bijziende leerlingen uit de klas het vertepunt van hun oog kan laten bepalen. Aan de hand van deze metingen kunnen de leerlingen het verband tussen de vertepuntsafstand en de brilsterkte onderzoeken en het verband tussen beide waarden grafisch uitzetten. Het verband tussen brilsterkte en plaats van het vertepunt is als volgt: hoe sterker bril, hoe dichter het vertepunt - gemeten zonder bril - bij het oog ligt. De afstand van het vertepunt tot het oog is gelijk aan de (negatieve) brandpuntsafstand van de correctielens. Als we met behulp van de vertepuntsafstand de benodigde brilsterkte willen berekenen is deze 100 gedeeld door de vertepuntsafstand in cm. Bijvoorbeeld: de afstand vertepunt-oog = 21 cm betekent een brilsterkte van -4.75 D . (Voor een normaal-zienende geldt dus een 'brilsterkte' van 100 gedeeld door oneindig is 0.)

Probleem A3: 'Een variant'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat het bijziende oog een variant is van het normale oog.

Box 4.3: 'Een variant'. Leerlingentekst bij probleem A3.

'Een variant'

Introductie

Bijziendheid noemen we een functieafwijking van het oog. Met de oogstructuren op zich is niets mis, ze zijn alleen niet goed op elkaar afgestemd. Het bijziende oog is eigenlijk een variant van het normale oog. Daarover gaat het volgende probleem.

Probleem

Wouter is bijziend, hij draagt een bril met een sterkte van -5 D. Hij loopt zonder bril naar de leeskaart en bepaalt het vertepunt. Vervolgens geeft de docent hem een brillenglas (of lens) van -2 D en laat hem daarmee opnieuw het vertepunt bepalen. Hij merkt dat het vertepunt nu verder weg ligt en vraagt zich af hoe dat zal zijn bij andere brilsterkten. Daarom bepaalt Wouter ook het vertepunt met een brillenglas van -4 D en met zijn eigen bril van -5 D.

Opdracht

Verklaar het verband tussen brilsterkte en ligging van het vertepunt bij de volgende situaties: wanneer Wouter 'het meest bijziend is' - dus zonder bril - en bij afnemende bijziendheid, namelijk met een brillenglas van respectievelijk -2 D, -4 D en -5 D. Teken in een oogschema de gang van de lichtstralen in de vier hiervoor genoemde situaties en noteer de conclusies die je hieruit kunt trekken.

Informatie voor de docent

Omdat de brilsterkte van Wouter -5 D bedraagt, ligt het vertepunt zonder bril op 20 cm van de leeskaart. Als hij door een brillenglas van -2 D kijkt, is hij nog -3 D bijziend. Dan ligt het vertepunt dus op 33 cm afstand van de kaart. Bij gebruik van een brillenglas van -4 D resteert een bijziendheid van -1 D en ligt het vertepunt op 100 cm. Wanneer hij zijn eigen bril opzet, is zijn bijziendheid geheel gecorrigeerd en ligt het vertepunt op oneindig en is dus niet meer te meten.

Om de letters op de leeskaart zonder bril scherp te kunnen zien, moet het oog van de proefpersoon - bij een brilsterkte van -5 D - ongeveer 20 cm van de leeskaart verwijderd zijn. Anders gezegd: het vertepunt ligt op 20 cm afstand van de kaart. De lichtstralen die op deze afstand vanaf de kaart op het hoornvlies vallen, divergeren. Als de proefpersoon op een afstand van 20 cm van de kaart een zwakke negatieve bril opzet, bijvoorbeeld met een sterkte van -2 D, zullen de lichtstralen die via de bril op het hoornvlies vallen 'teveel' divergeren. Pas op een afstand van 50 cm van de kaart ziet de proefpersoon met deze bril weer scherp en is er dus een bij de oogaslengte behorende divergentie bereikt.

Hoe verder de proefpersoon *zonder bril* van de kaart af gaat staan hoe minder de lichtstralen die vanaf de kaart op het hoornvlies vallen, zullen divergeren. Om scherp te kunnen zien moet naarmate de afstand tot de kaart toeneemt de divergentie 'verder opgevoerd worden' om een goede afstemming tussen de - vaste - oogaslengte en de - kunstmatig aangepaste - lenssterkte te bereiken. Dit is mogelijk met behulp van steeds sterkere brillenglazen. Op een afstand van de kaart van meer dan 5 m lopen de lichtstralen bij de proefpersoon zonder bril van de kaart naar het hoornvlies evenwijdig. Om scherp te kunnen zien op die afstand is dan de grootste correctie nodig, in ons voorbeeld dus -5 D.

Probleem A4: 'Een ervaring'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat goed ziende leerlingen ervaren wat het betekent onscherp te zien en inzicht krijgen in de achterliggende oorzaak, namelijk een 'verkeerde plaats' van het beeldpunt. Brildragende leerlingen begrijpen dat ze -

door toepassing van (extra) lenzen - ook onscherp gaan zien en dat een nauwkeurige bepaling van de benodigde brilsterkte is bedoeld om het beeldpunt op het netvlies te laten vallen.

Box 4.4: 'Een ervaring'. Leerlingentekst bij probleem A4.

'Een ervaring'

Introductie

Misschien ben je er - na het oplossen van de vorige problemen - nog niet helemaal van overtuigd dat leerlingen die een bril moeten dragen geen slechte ogen hebben. Bij het oplossen van onderstaand probleem kun je zelf ervaren hoe gemakkelijk je 'slechtziend' kunt worden. Als je een bril draagt, word je er weer op attent gemaakt dat een juiste sterkte van een bril belangrijk is.

Probleem

Elvira en Pieter zien zonder bril uitstekend. Zij zouden wel eens - voor korte tijd - bijziend willen zijn om te ervaren wat dat betekent. Omdat ze weten waarom bijzienden zonder bril op afstand onscherp zien, kunnen ze een eenvoudige oplossing voor dit probleem bedenken.

Opdracht 1

Noteer de oplossing die je hebt bedacht en bespreek deze daarna in de groep.

Opdracht 2

Vraag je leraar de door jou als oplossing gekozen lens, verklaar het onscherp zien wanneer je daardoor naar de leeskaart kijkt en teken de stralengang in een oogschema.

Informatie voor de docent bij opdracht 1

Gewoonlijk hebben leerlingen wel bedacht dat om onscherp te zien het beeldpunt niet op het netvlies mag vallen en dat het beeldpunt is te verschuiven met behulp van een voor het oog geplatste lens. Positieve lenzen met een sterkte van (ongeveer) 2 dioptrieën (+2 D) zijn gewoonlijk voldoende om een onscherp beeld op het netvlies te geven.

Informatie voor de docent bij opdracht 2

Bij bijzienden valt - bij het zien op afstand - het beeldpunt vóór het netvlies. Wanneer normaal-ziende leerlingen bijziend willen worden, kunnen ze dit natuurlijk niet doen door hun oogas te verlengen. Er moet dus een andere mogelijkheid worden gevonden om het beeldpunt in de richting van de lens te verplaatsen. Dit kan door het brekend systeem sterker te maken door toevoeging van een positieve lens.

Een enkele keer komt het voor dat leerlingen door de lens van +2 D de letters op de leeskaart even scherp zien als zonder lens. Dit betekent dat ze zogenaamd latent verziend zijn. Wanneer ze zonder extra lens naar de leeskaart kijken, valt het beeldpunt 'achter het netvlies'. Door te accommoderen kunnen ze ervoor zorgen dat het beeldpunt wel op het netvlies valt. Het plaatsen voor het oog van een positieve lens - waarvan de sterkte de waarde van hun oogafwijking niet overschrijdt - stelt hen in staat zonder of door minder te accommoderen scherp te zien (zie ook probleem B4). Omdat het de bedoeling is dat ook deze leerlingen tijdelijk 'bijziend' worden, geeft de docent hen - zonder commentaar - een sterkere positieve lens.

Men onderscheidt verschillende graden van bijziendheid. Schoolmyopie wordt bijvoorbeeld op de schoolleeftijd merkbaar en komt zelden boven de -5 D. Middelmatige myopie loopt tot circa -10 D en hoge myopie tot -15 D en meer. Ernstige vormen van bijziendheid geven aanleiding tot netvlies schade.

Ter afsluiting van de probleemtaak bespreekt de docent met de leerlingen wat ze uit het voorgaande hebben moeten leren. Hij kan dit doen aan de hand van een uitgedeelde tekst of door het houden van een klasseggesprek, waarin onder meer de volgende essentiële punten uit de taak ter sprake komen: een goed functionerend biologisch systeem kan variaties in bouw vertonen. Scherp of onscherp zien is het gevolg van het al dan niet op het netvlies vallen van de afbeelding van het voorwerp. Bij functieafwijkingen is het oog niet 'slecht', maar zijn de oogstructuren niet goed op elkaar afgestemd. Functieafwijkingen kunnen door lenzen worden gecorrigeerd. De betekenis van de plaats van het vertepunt - als indicatie voor het functioneren van het brekend systeem van het oog - is bekend. De docent kan de leerlingen ook vragen een samenvatting van de probleemtaak te maken.

Verrijkingsstof bij probleemtaak A

Verrijkingsstof kan bijvoorbeeld worden gebruikt bij het maken van een profielwerkstuk of om de leerlingen de gelegenheid te geven hun kennis over de monoculaire beeldvorming te toetsen. Hieronder doen we enkele suggesties.

'Positief of negatief?'

Leerlingen vinden het vaak moeilijk om te bepalen of een lens positief of negatief is. Aan de hand van de volgende informatie kunnen zij hun kennis over lenzen uitbreiden. Zij kunnen bijvoorbeeld verklaringen van de hieronder beschreven verschijnselen trachten te vinden door constructies en berekeningen te maken.

Bij positieve brillenglazen is het centrum het dikst, bij negatieve de rand. Wanneer we kijken naar iemand die een negatieve of positieve bril draagt - vooral een sterke - dan zien we respectievelijk een verkleining of vergroting van achterliggende delen van het gezicht. Wanneer we door een lens naar een daarachter liggend voorwerp kijken zal dit voorwerp bij een beweging van een negatieve lens in dezelfde richting meebewegen en bij een positieve lens - omdat deze het beeld omkeert - een tegengestelde beweging maken. Een negatieve lens heeft een sterkere werking als we hem naar het oog toe bewegen, een positieve lens een zwakkere. Als bijvoorbeeld een bijziende leerling met zijn bril op naar de leeskaart kijkt op een afstand van 5 meter dan kan hij de regel aangeduid met gezichtsscherpte 1 goed lezen. Als hij zijn bril in de richting van de kaart schuift, dan worden de letters van deze regel onscherp. Hij is weer bijziend geworden.

'De lachspiegel'

Bij het kijken in een lachspiegel of naar de holle of bolle kant van een lepel, wordt het spiegelbeeld in de hoogte of in de breedte uit elkaar getrokken. Iets dergelijks gebeurt er met het netvliesbeeld, als de kromming van het hoornvlies niet in alle richtingen gelijk is. We spreken dan van astigmatisme. De beeldvorming bij astigmatisme is te simuleren door als lens een met water gevuld sherryglas te gebruiken, waardoor het beeld duidelijk in één richting wordt uitgerekt (bijlage 10). Voor dit experiment is een sherryglas geschikt, omdat dit een duidelijke verschil vertoont in horizontale en verti-

cale kromming. Door het glas met andere vloeistoffen te vullen, krijgen de leerlingen een indruk van de brekingsindex van deze vloeistoffen.

Een optisch systeem heet sferisch als het brekend vermogen van het optische systeem (voornamelijk het hoornvlies) in alle richtingen (meridianen) gelijk is. Het systeem heeft één brandpunt. Dit is het geval bij het normale, het bijziende en het verziende oog. Er is sprake van astigmatisme als het brekend vermogen van het optische systeem niet in alle richtingen gelijk is. Bij astigmatisme vinden we meestal een duidelijk verschil in hoornvlieskromming in twee meridianen die loodrecht op elkaar staan. Het brekend systeem heeft dan geen brandpunt, maar vertoont een tweetal loodrecht op elkaar staande 'brandlijnen' met als gevolg dat scherp zien met een dergelijk oog niet mogelijk is. Correctie van deze functieafwijking is mogelijk met behulp van cilinderglazen. Deze lenzen breken het licht - in tegenstelling tot 'gewone', sferische lenzen - slechts in één richting en niet in de richting die daar loodrecht op staat. Bij de proef met het sherryglas kan de werking van een cylinderlens bijvoorbeeld worden nagebootst met behulp van een met water gevulde reageerbuis. Bij toepassing van harde contactlenzen vult het traanvocht ('de traanfilm') oneffenheden op, zodat het astigmatisme van het hoornvlies wordt opgeheven. Dit laatste is vooral belangrijk wanneer astigmatisme het gevolg is van een onregelmatige kromming van het hoornvlies (zogenaamd irregulair astigmatisme), bijvoorbeeld door littekenvorming ten gevolge van ontsteking of verwonding. In dat geval is correctie met cilinderglazen onmogelijk. We merken op dat astigmatisme veelal gepaard gaat met bijziendheid of verziendheid.

Subthema 'accommodatie'

In de gangbare biologieleerboeken wordt accommodatie omschreven als het vermogen van het oog om dichtbij scherp te zien doordat de lens boller kan worden. Definities die rekening houden met de principes van de geometrische optica ontbreken gewoonlijk.

Van Everdingen, Klazinga & Pols (1992) geven in het Pinkhof-Hilfman Geneeskundig Woordenboek naast een correcte ook een compacte - en voor leerlingen bruikbare - definitie, namelijk: 'Accommodatie is het vermogen van het oog om op verschillende afstanden scherp te zien door adequate wijziging van de lenskromming.' Deze auteurs doen recht aan het Latijnse 'accommodare' in de betekenis van 'naar iets schikken' of 'aanpassen'.

Voor leerlingen is het vaak moeilijk een juiste omschrijving van het begrip accommodatie te geven. Ze proberen zich bijvoorbeeld constructies van de stralengang voor te stellen of hebben twijfels over de vormverandering die de lens moet ondergaan om dichtbij scherp te zien. Het probleem is dat zij de samenhang niet zien tussen het scherp zien op verschillende afstanden, de lenskromming en de plaats van het beeldpunt. Op elke afstand 'probeert het oog' een scherp beeld op het netvlies te krijgen. De prikkel voor dit proces is een onscherp beeld op het netvlies.

In de volgende probleemtaak komt onder meer aan de orde dat accommoderen ook op afstand kan plaatsvinden om een onscherp netvliesbeeld scherp te krijgen. Ook bij deze probleemtaak moeten leerlingen vooral begrijpen dat 'wat er met het beeldpunt gebeurt' van primair belang is.

Probleemtaak B: 'Accommodatie'

Deze probleemtaak gaat over de ligging van het beeldpunt bij accommodatie op afstand en dichtbij en over verziendheid en accommodatie in relatie tot leeftijd. Bij het formuleren van problemen binnen deze probleemtaak streefden we naar het voorkomen van misconcepties ten aanzien van de relatie tussen accommodatie, functieafwijkingen en ouderdomsverziendheid. Geconstateerd is dat leerlingen menen dat een bijziende bij toenemende ouderdomsverziendheid helemaal geen bril meer nodig heeft, omdat hen niet duidelijk is dat ouderdomsverziendheid geen invloed heeft op de plaats van het vertepunt. Voorts verwarren zij ouderdomsverziendheid met (over)verziendheid, omdat beide door een positieve lens worden gecorrigeerd.

We formuleerden voor deze probleemtaak de volgende doelen: *Leerlingen begrijpen dat accommodatie niet alleen dichtbij, maar ook op afstand kan optreden. Ze begrijpen dat accommodatie een rol speelt bij de functieafwijking verziendheid. Ook begrijpen ze het verband tussen accommodatie en leeftijd, en de bij ouderdomsverziendheid optredende verschillen tussen normaal-zienden en mensen met een functieafwijking.*

Probleem B1: 'Een verrassing'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat accommodatie ook op afstand kan optreden.

Box 4.5: 'Een verrassing'. Leerlingentekst bij probleem B1.

'Een verrassing'

Introductie

Bij het oplossen van probleem A4 heb je gemerkt, dat je onscherp gaat zien als je door een extra lens naar de leeskaart kijkt. In het volgende probleem gaan we dit experiment uitbreiden.

Probleem

Martha en Karel hebben begrepen dat het voor het oog houden van een +2 D lens tot gevolg heeft dat het beeldpunt niet meer op het netvlies valt en dat daardoor onscherp zien optreedt. Ze komen op het idee dat je het beeldpunt ook met een -2 D lens zou kunnen verplaatsen en dat daardoor ook wel onscherp zien zal optreden. Tot hun verrassing gebeurt dit niet. Ze zien (ongeveer) even scherp als zonder -2 D lens.

Opdracht

Verklaar het verschijnsel dat Martha en Karel door een -2 D-lens op afstand scherp zien. Teken de situatie in een oogschema.

Informatie voor de docent

Leerlingen zullen op het idee komen dat er iets in het oog moet zijn gebeurd, waardoor het effect van de negatieve 2 D lens wordt gecompenseerd. Het oog moet dus 'positiever' zijn geworden, omdat het bre-

kend vermogen van het oog kennelijk is toegenomen. Omdat de leerlingen door de +2 D lens onscherp zien, kan het brekend systeem van het oog blijkbaar niet 'negatiever' worden. Hoewel de mogelijkheid van vormverandering (accommodatie) van de lens bij de bouw en de werking van het oog al besproken is, zullen de meeste leerlingen - bij het zien in de verte - daaraan niet denken.

Omdat Martha en Karel met de -2 D lens voor hun oog scherp zien, moet hun ooglenzen +2 D sterker zijn geworden en dus boller. Er kan dus ook accommodatie op afstand optreden. Als de ooglenzen van Martha en Karel niet boller had kunnen worden, zou het beeldpunt 'achter het netvlies' komen en zouden ze 'verziend' zijn geworden.

In het oogschema zullen leerlingen de divergente werking van de negatieve lens van ongeveer 2 D in het algemeen wel goed hebben aangegeven. Wanneer een proefpersoon onscherp ziet door een negatieve lens, betekent dit dat het beeldpunt niet op het netvlies ligt maar 'er achter'. Dit is het geval bij een sterke negatieve lens, omdat dan het accommodatievermogen tekortschiet. Bij probleem B1 is vermeld dat Martha en Karel wel scherp zien. De meeste leerlingen zullen het beeldpunt dan ook wel hebben laten samenvallen met het netvlies. De vraag is of elke leerling eraan heeft gedacht dat de ooglenzen in het schema boller getekend moet worden om het beeldpunt van de divergente stralen van de negatieve lens op het netvlies te krijgen.

In plaats van een -2 D lens zijn ook sterkere lenzen bruikbaar. Het accommodatievermogen van een 16 jarige bedraagt namelijk 10-15 dioptrieën. Bij gebruik van een -2 D lens kan de docent - tot circa 55 jaar - ook meedoen.

We merken op dat de docent de leerlingen ook kan vragen te voorspellen wat er gebeurt als ze een -2 D lens voor het oog houden. Na het noteren van hun voorspelling kunnen ze de leeskaart met deze lens bekijken en het resultaat in een oogschema weergeven. De leerlingen zullen met de -2 D lens in het algemeen dezelfde regel van de leeskaart scherp zien als zonder lens. Naar analogie van het probleem van de +2 D lens (probleem A4), zullen sommige leerlingen geneigd zijn 'onscherp zien' te voorspellen.

Probleem B2: 'Grenzen'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat de grenzen van het accommodatievermogen kunnen worden benaderd door na te gaan wat de sterkste negatieve lens is waarvan de divergerende werking kan worden gecompenseerd door toenemende kromming van de ooglenzen. Zij begrijpen dat dit experiment geen exacte uitkomst van het accommodatievermogen kan geven, omdat ze niet beschikken over een reeks negatieve lenzen met opklimmende sterkte van een kwart dioptrie.

Box 4.6: 'Grenzen'. Leerlingentekst bij probleem B2.

'Grenzen'

Introductie

Je hebt begrepen dat de ooglenzen ook bij het zien op afstand boller kan worden, kan accommoderen. Het accommodatievermogen is echter begrensd. In het volgende probleem kun je dat onderzoeken.

Probleem

Je hebt geconstateerd dat je met een voor het oog geplaatste lens van -2 D op afstand scherp kunt zien. De ooglenzen kan blijkbaar de divergerende werking van deze lens compenseren door de lichtstralen meer te convergeren via een toenemende **romming**. Wellicht kan het accommodatievermogen groter zijn. Om dit te onderzoeken, gebruik je sterkere negatieve lenzen.

Opdracht

Noteer welke regel van de leeskaart je zonder (extra) lens nog kunt zien. Plaats daarna negatieve lenzen van toenemende sterkte voor je oog. Noteer bij welke sterkte deze regel onscherp wordt. Verklaar de waargenomen verschijnselen.

Informatie voor de docent

Afhankelijk van het individuele accommodatievermogen van het oog van de leerling - ongeveer 10-15 dioptrieën - zal op een bepaald moment de accommodatie tekortschieten en de gezichtsscherpte afnemen, de leerling wordt dan 'pseudo-verziend'. Er is dus een grens aan het accommodatievermogen. Bij de docent zal deze grens al met zwakkere negatieve lenzen worden bereikt.

Omdat een reeks negatieve lenzen met toenemende sterkte van 0.25 D meestal niet beschikbaar zal zijn, is de methode niet bruikbaar voor bepaling van de maximale accommodatie. Leerlingen kunnen hiervan een betere indruk krijgen bij de bepaling van het nabijheidspunt (zie onder probleem B3: 'Lezen' hier-na).

Opmerking: het is aan te bevelen een verzameling van oude (sferische) brillenglazen aan te leggen. De sterkte van deze lenzen kan door een optometrist gemakkelijk en snel worden bepaald met elektronische apparatuur.

Probleem B3: 'Lezen'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat er bij het kijken naar een tekst op leesafstand een divergente lichtbundel op de ooglenzen valt. Ze begrijpen dat deze bundel door de geaccommodeerde ooglenzen wordt geconvergeerd, zodat het beeldpunt op het netvlies valt. Ze begrijpen de betekenis van het nabijheidspunt: het punt dat bij maximale accommodatie van de ooglenzen nog scherp kan worden gezien.

Box 4.7: 'Lezen'. Leerlingentekst bij probleem B3.

'Lezen'

Introductie

Je hebt begrepen dat de ooglenzen divergent invallende lichtstralen - tot op zekere hoogte - kan convergeren, zodat het beeldpunt (toch nog) op het netvlies valt. In probleem B2 heb je deze functie van de ooglenzen onderzocht voor het zien op afstand met behulp van negatieve lenzen. Er is nog een andere manier om de maximale accommodatie te onderzoeken, namelijk als je bedenkt dat de ooglenzen pas op een voorwerpsafstand van minimaal 5 meter geheel ongeaccommodeerd is. Dit mechanisme onderzoeken we in het volgende probleem. De docent doet ook mee.

Probleem

De docent geeft aan welk stukje tekst met 'kleine letters' uit het biologieboek je bij de opdracht moet gebruiken of hij deelt een tekst uit met bijvoorbeeld een 11-punts lettergrootte. Wanneer je deze tekst bekijkt, merk je dat je de letters niet op elke afstand van het oog scherp kunt zien.

Opdracht

Bepaal het nabijheidspunt van het oog. Dit is het dichtst bij het oog gelegen punt dat nog scherp gezien kan worden. Als je een bril draagt, moet je die op houden. Kijk met één oog naar de (uitgedeelde) tekst terwijl je deze langzaam naar het oog toe beweegt. Als de tekst onscherp wordt, beweeg je deze weer zover van het oog af totdat de letters net weer scherp zijn. Op deze plaats ligt het nabijheidspunt. Je moet nu bij elkaar dit nabijheidspunt bepalen en daarna de afstand meten tot het gesloten oog - of veiliger: de afstand tot de rand van de oogkas - en deze noteren. Noteer ook de bij de docent gemeten afstand en verklaar een eventueel verschil. Geef ook een verklaring voor het verschijnsel dat de tekst binnen de afstand van het nabijheidspunt onscherp wordt. Teken daarna in een oogschema van leerlingen en docent de stralengang bij het kijken naar een tekst op de afstand van het nabijheidspunt.

Informatie voor de docent

De bij de leerlingen gemeten afstanden zullen niet veel uiteenlopen. Bij het zien in de verte zijn het normale en het gecorrigeerde oog ongeaccommodeerd, zogenaamd 'in rust'. Ingesteld op de afstand van het nabijheidspunt is het oog maximaal geaccommodeerd. Afhankelijk van zijn leeftijd zal het nabijheidspunt van de docent verder van het oog liggen.

Probleem B4: 'Ver zien'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat (over)verziendheid een functieafwijking van het oog is. Zij begrijpen dat bij deze afwijking (meestal) de oogas te kort is in verhouding tot de sterkte van de lens. Tevens is hun duidelijk dat een verziende met het *ongeaccommodeerde* oog op geen enkele afstand scherp ziet en dat de afwijking is te corrigeren met een positieve bril.

Box 4.8: 'Ver zien'. Leerlingentekst bij probleem B4.

'Ver zien'

Introductie

Sommige leerlingen, zoals Paul, zien op afstand zonder bril even scherp als met bril. Paul had ook geen klachten over onscherp zien in de verte, zoals Yvonne en Wouter (probleem A2); hij is dus niet bijziend. De functieafwijking van zijn oog noemen we verziendheid of oververziendheid. Zijn klachten beperkten zich tot 'vermoeide en geïrriteerde ogen'. De vraag is waarom hij toch een bril draagt. Daarover gaat het volgende probleem.

Probleem

Yvonne en Wouter uit probleem A2 zijn bijziend. Zonder bril konden zij de letters op de leeskaart alleen op korte afstand goed zien. Paul kan ook zonder bril scherp zien, waarom draagt hij dan toch een bril?

Opdracht

Het nabijheidspunt van Paul gemeten met bril lag op een afstand van 6 cm van het oog. Zonder bril is dit 10 cm. Verklaar dit verschijnsel en teken in oogschema's de gang van de invallende lichtstralen in het oog van Paul, gerekend vanaf het nabijheidspunt, met en zonder bril. Je mag ervan uitgaan dat het maximale accommodatievermogen van zijn ogen gelijk is aan dat van een normaal oog.

Informatie voor de docent

Uit de opdracht blijkt dat bij verziende leerlingen het nabijheidspunt gemiddeld verder van het oog ligt dan bij leerlingen met ogen zonder deze functieafwijking.

We kunnen dit als volgt verklaren. De oogas is bij verzienden te kort, hun oog is te ondiep. Dit heeft als gevolg dat bij het zien op afstand het beeldpunt achter het netvlies zou moeten vallen, met onscherp zien als gevolg. In de praktijk zien verziende leerlingen - wanneer de afwijking niet te groot is - op afstand echter scherp.

Zij kunnen dit omdat hun oog - als reactie op het onscherpe netvliesbeeld - accommodeert, zodat het beeldpunt op het netvlies valt. Verziende leerlingen hebben voor het zien op afstand dus al een deel van hun accommodatievermogen 'verbruikt', zij hebben dus voor het zien dichtbij minder accommodatievermogen over dan normaal-zienden. Dit komt tot uiting in de grotere afstand van het nabijheidspunt tot het oog. We verduidelijken dit met een voorbeeld. Verziende leerlingen moeten om zonder bril scherp te kunnen zien op iedere afstand accommoderen. In de regel overschrijdt de mate van verziendheid niet de 5 dioptrieën. Gezien de leeftijd van de leerlingen is hun totale accommodatievermogen bijvoorbeeld 11 dioptrieën. In het geval van een verziendheid van 5 dioptrieën zijn er dan nog 6 dioptrieën 'over' om het oog in te stellen op een nabij gelegen punt. Bij deze verziende leerlingen is er een nabijheidspunt te vinden. Tekortschietende accommodatie komt dus bij (over)verziendheid - in tegenstelling tot bij ouderdomsverziendheid - nauwelijks voor. Om scherp te zien, hoeven verzienden dus (meestal) geen bril te dragen. Hun verziendheid is latent. Wanneer het continue accommoderen echter klachten geeft, bijvoorbeeld hoofdpijn, wordt hen een positieve bril voorgeschreven. Bij hogere vormen van verziendheid kan het accommodatievermogen tekortschieten en wazig zien optreden. De verziendheid is dan manifest geworden. De term 'oververziendheid' duidt op de ligging van het vertepunt. Bij een bijziende ligt het vertepunt op eindige afstand, de op het oog vallende lichtstralen divergeren. Bij een normaal-ziende ligt het vertepunt 'op oneindig', de op het oog vallende lichtstralen lopen evenwijdig. Bij een verziende zouden de op het oog vallende lichtstralen moeten convergeren. Vanuit één voorwerpspunt convergerende lichtstralen komen in de natuur echter niet voor. Men zegt wel dat het vertepunt bij een verziende 'nog verder weg' ligt dan oneindig, namelijk 'achter het oog'. Het is een virtueel punt en voldoet daarmee niet aan de definitie van het vertepunt.

We merken op dat de docent ook leerlingen die de letters op de leeskaart zonder bril scherp kunnen zien, kan vragen de afstand van het nabijheidspunt tot het oog te meten, met en zonder bril en de gevonden verschillen te verklaren.

Probleem B5: 'Het oudere oog'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen begrijpen dat - door een verminderde elasticiteit van de lens - het accommodatievermogen van het oog met toenemende leeftijd afneemt en begrijpen welke gevolgen dit heeft.

Box 4.9: 'Het oudere oog'. Leerlingentekst bij probleem B5.

'Het oudere oog'

Introductie

Bij veroudering van weefsels neemt de elasticiteit ervan af. Dit is goed te zien aan de huid. De huid van ouderen krijgt rimpels, vooral waar deze veelvuldig aan het zonlicht is blootgesteld. Ook de oog lens verliest geleidelijk haar elasticiteit. Jongeren merken dat niet, maar personen van middelbare leeftijd wel. Veel mensen hebben vanaf ongeveer 40 jaar een leesbril nodig. We spreken dan van ouderdomsverziendheid. Bij ouderen die al een bril dragen is het leesgedeelte bijvoorbeeld een ingeslepen 'half maantje' of ze hebben een zogenaamde multifocale bril - een bril met meer dan één brandpuntsafstand - waarbij het leesgedeelte onzichtbaar is.

Probleem

Een oudere persoon die op afstand zonder bril scherp ziet, moet bij het lezen de krant steeds verder weg houden. Ten slotte 'worden zijn armen te kort' om de letters nog scherp te kunnen zien. Op leesafstand (30 cm) ziet hij onscherp. De letters worden pas scherp op een afstand van 60 cm.

Opdracht

Verklaar wat er met het nabijheidspunt op oudere leeftijd gebeurt. Teken in oogschema's de gang van de lichtstralen in het oog van de oudere persoon bij het zien zonder bril op 60 cm en vervolgens op leesafstand, zonder en met 'leesbril'.

Informatie voor de docent

Als gevolg van het verminderen van de elasticiteit c.q. het brekend vermogen bij veroudering van de ooglenzen neemt het accommodatievermogen af. Als gevolg hiervan komt het nabijheidspunt steeds verder van het oog te liggen. Dit wordt merkbaar wanneer dit punt verder weg ligt dan de leesafstand en betrokkene een tekst steeds verder van zich af gaat houden. We spreken van ouderdomsverziendheid. Om het beeldpunt op leesafstand weer op het netvlies te laten vallen, moet het brekend systeem worden versterkt door een positieve lens.

Het afnemen van het accommodatievermogen van de ooglenzen kan enigszins worden gecompenseerd door veranderingen in de lens ten gevolge van groei. Zoals ook bij andere ectodermale organen (haren, nagels) vindt in de ooglenzen gedurende het hele leven celdeling plaats. Omdat de lens geheel omgeven is door het lenskapsel en dus geen celmateriaal kan afstoten, neemt zij steeds toe in gewicht en omvang. Tussen het twintigste en vijftienvestigste levensjaar neemt de dikte van de lens toe met 1 mm. Bovendien verplaatst de lens zich over een afstand van ongeveer 0.6 mm in de richting van de voorste oogkamer. Hierdoor neemt de sterkte van het brekend vermogen van het oog toe.

Keuzeopdrachten bij probleemtaak B

Probleem B6: 'Verder lezen'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen inzien dat een functieafwijking - in dit geval bijziendheid - de plaats van het nabijheidspunt beïnvloedt.

Box 4.10: 'Verder lezen'. Leerlingentekst bij probleem B6.

'Verder lezen'

Introductie

Een functieafwijking heeft invloed op de ligging van het nabijheidspunt. Daarover gaat het volgende probleem.

Probleem

Bij Yvonne en Wouter (probleem A2) ligt het nabijheidspunt gemeten zonder bril, dichterbij het oog dan gemeten met bril.

Kennelijk heeft een functieafwijking van het oog invloed op de plaats van het nabijheidspunt.

Opdracht

Verklaar het verschil in de plaats van het nabijheidspunt met en zonder bril bij Yvonne en Wouter en teken in een oogschema de stralengang bij Yvonne en Wouter als zij zonder bril een tekst bekijken op de afstand van het nabijheidspunt.

Informatie voor de docent

De afstand tot het nabijheidspunt bij de bijziende leerlingen is gemiddeld kleiner dan bij leerlingen met ogen zonder functieafwijkingen. Bijziende leerlingen hebben dus bij het zien op leesafstand meer accommodatie over dan de normaal-zienden (zie ook bij 'Altijd een leesbril?' hieronder).

We merken op dat de docent ook bij bijziende leerlingen de afstand oog-nabijheidspunt kan laten meten, met en zonder bril. Bij deze metingen vinden de leerlingen verschillen, die kennelijk verband houden met de functieafwijking van de proefpersonen.

Probleem B7: 'Altijd een leesbril?'

Het doel van het oplossen van dit probleem is dat leerlingen het verband begrijpen tussen accommodatie en functieafwijkingen.

Box 4.11: 'Altijd een leesbril?' Leerlingentekst bij probleem B7.

'Altijd een leesbril?'

Introductie

Bij verziende en bijziende personen verloopt het ontstaan van ouderdomsverziendheid anders dan bij normaal-zienden. Is hun leesbril altijd positief? Waarom kunnen sommige ouderen zonder bril lezen? Hierover gaan de volgende problemen.

Probleem 1

Een 55-jarige verziende ziet zonder bril een krantentekst pas scherp op een afstand van 95 cm. Voor een even oude normaal-ziende is deze afstand 50 cm.

Opdracht 1

Verklaar het verschil tussen de waargenomen afstanden van de verziende en de normaal-ziende. Geef aan wat voor soort leesbril de verziende moet hebben.

Probleem 2

Een 55-jarige bijziende ziet zonder bril een krantentekst nog scherp op een afstand van 40 cm. Voor een even oude normaal-ziende is deze afstand 50 cm.

Opdracht 2

Verklaar het verschil tussen de waargenomen afstanden van de bijziende en de normaal-ziende. Geef aan wat voor soort leesbril de bijziende moet hebben.

Probleem 3

Een 55-jarige bijziende die voor het zien op afstand een bril draagt met een sterkte van -3 D, kan uitstekend lezen zonder bril.

Opdracht 3

Verklaar hoe het mogelijk is dat deze bijziende zonder bril goed kan lezen. Zijn ooglenzen is immers evenveel verouderd als die van een normaal-ziende.

Informatie voor de docent

Zoals in de informatie voor de docent bij probleem B4 al is aangegeven, hebben verzienden voor het zien op afstand al een deel van hun accommodatie 'verbruikt'. Hun nabijheidspunt ligt verder van het oog dan bij normaal-zienden en zal bij afnemend accommodatievermogen eerder de kritische grens van de leesafstand bereiken. Bij bijzienden ligt het nabijheidspunt dichterbij het oog en zal dus pas op hogere leeftijd dan bij normaal-zienden de leesafstand overschrijden.

Wanneer de brilsterkte van een bijziende -3 D bedraagt, dan ligt het vertepunt op ongeveer 30 cm van zijn oog, dus op leesafstand. Een 55-jarige heeft nog een accommodatievermogen van ongeveer 1.5 D. Het nabijheidspunt van de bijziende ligt dan op 22 cm (100 gedeeld door 4.5). Bij afnemend accommodatievermogen van zijn ooglenzen, komt het nabijheidspunt steeds verder van zijn oog te liggen, echter nooit verder dan de afstand van het vertepunt. Wanneer de ooglenzen helemaal niet meer kan accommoderen, valt het nabijheidspunt samen met het vertepunt. Omdat dit op 30 cm ligt, kan deze bijziende tot op hoge leeftijd zonder bril uitstekend lezen. Hij heeft zijn bril alleen nodig voor grotere afstanden. Ook bij een sterkere graad van bijziendheid - bijvoorbeeld -6 D - kan iemand zeer kleine letters uitstekend lezen. Het probleem is echter dat het vertepunt zo dicht bij het oog ligt (ongeveer 17 cm), dat op normale leesafstand (30 cm) het beeld wazig is en een leesbril - in dit geval dus een zwakkere negatieve bril dan voor het zien op afstand - nodig is.

De sterkte van een leesbril moet worden opgeteld bij de sterkte van de verzebril; we spreken van een leesadditie. Een bijziende met een verzebril van -6 D , die een leesadditie van $+2\text{ D}$ nodig heeft, krijgt dus een leesbril van -4 D .

Na het uitvoeren van probleemtaak B begrijpen de leerlingen dat veroudering van het oog als biologisch systeem gevolgen heeft voor het gezichtsvermogen. Door afnemen de elasticiteit van de ooglens - in relatie tot de leeftijd - neemt het accommodatievermogen af. De gevolgen hiervan zijn verschillend bij personen zonder en met een functieafwijking. Leerlingen hebben ook begrepen dat verziendheid een functieafwijking is, omdat de oogas te kort is. Ze begrijpen dat een jeugdige verziende het tekort aan oogaslengte kan compenseren door te accommoderen, maar dat hij dit op oudere leeftijd niet meer kan.

Verrijkingsstof bij probleemtaak B

Ook bij deze probleemtaak geven we enkele suggesties voor verrijkingsstof.

'Een nieuwe bril'

De oogarts moet bij het bepalen van de brilsterkte voorkomen dat ongewenste accommodatie optreedt. Een probleem is of hij bij de correctie van verziendheid de sterkste of de zwakste positieve bril moet voorschrijven.

De keuze moet op de sterkste lens vallen. Met een zwakkere lens zal de verziende ook wel scherp zien, maar alleen omdat hij het tekort bijaccommodeert. Bij het bepalen van de benodigde sterkte van een bril (het refracteren), biedt de oogarts de patiënt correctieglazen aan van oplopende sterkte totdat deze het beeld minder scherp gaat zien. Het beeldpunt komt dan namelijk voor het netvlies te liggen (pseudo-bijziendheid). De juiste correctie is dan het voorlaats aangeboden, en dus iets minder sterke, positieve correctieglas.

We merken op dat bij het aanmeten van een negatieve bril het zwakste correctieglas dat een scherp beeld geeft, gekozen moet worden. Met een wat sterker correctieglas kan ook wel scherp worden gezien, maar alleen met behulp van ongewenste accommodatie. Het oog wordt met het sterkere glas namelijk (pseudo)verziend.

'Accommodatie bij vissen'

Onder water is de brekingsindex van het hoornvlies vrijwel gelijk aan die van water. Daardoor kan het hoornvlies geen substantiële bijdrage leveren aan het brekend systeem van het oog. Dit heeft gevolgen voor de vorm van de ooglens en daardoor voor het accommodatiemechanisme.

In een aquarium met een fluoresceïneoplossing in water kan het verschil in het brekend vermogen van een lens van circa 40 D in lucht en in water worden aangetoond (bijlage 10). De brandpuntsafstand van de 40 D -lens is in water duidelijk groter dan in lucht. De sterkte van deze lens, die in lucht 40 D bedraagt, is in water dus beduidend minder. Eventueel kan de docent door toevoegen van extra lenzen duidelijk maken hoeveel sterker de ' 40-D -lens' onder water zou moeten worden om een brandpuntsafstand te krijgen die even groot is als bij plaatsing in lucht. Aangezien het hoornvlies ongeveer dezelfde brekingsindex heeft als water, heeft dit consequenties voor de vorm van de ooglens van een vis. Deze

lens is bolrond, zodat er geen of nauwelijks accommodatie mogelijk is. Verplaatsing van de ooglen is dan een goede mogelijkheid.

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag *‘Welke vorm heeft het exemplarisch leerstofontwerp gekregen?’*, concluderen we dat de leerstof - ontwikkeld voor het planniveau - de vorm heeft gekregen van geïntegreerde probleemtaken, waarbij de onderzoeker en de docenten rekening hielden met in de literatuur geconstateerde misconcepties. Zij menen door de opzet en de aanwijzingen voor het uitwerken van de probleemtaken een bijdrage te hebben geleverd aan het vermijden van deze misconcepties. Voorts streefden zij bij de constructie van de probleemtaken ernaar - daarbij aansluitend bij het studiehuisconcept voor de nieuwe tweede fase - dat deze de leerlingen motiveren tot actief en zelfstandig leren.

4.11 Reflectie op het leerstofontwerp en op het proces van samenwerking

In deze paragraaf gaan we nader in op het antwoord op de onderzoeksvraag die ten grondslag ligt aan de praktijkstudie, namelijk: *‘Welke kenmerken zou een ontwerp van geïntegreerde leerstof moeten hebben waarbij het zelfstandig leren van leerlingen wordt bevorderd en hoe zou een dergelijk ontwerp in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen kunnen worden ontwikkeld?’*

De reflectie op het leerstofontwerp komt in § 4.11.1 ter sprake. In § 4.11.2 toetsen we dit ontwerp aan de in § 4.8 geformuleerde uitgangspunten en in § 4.11.3 blikken we terug op het proces van samenwerking tussen onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum.

4.11.1 Reflectie op het leerstofontwerp

Het antwoord op het eerste deel van de onderzoeksvraag is voor een concreet, te ontwikkelen leerstofontwerp gegeven door een aantal deelvragen met betrekking tot onder meer inhoud, didactische benadering, vorm en uitwerking van het leerstofontwerp (zie § 4.1) te beantwoorden (§ 4.4 tot en met § 4.10). Uit deze antwoorden blijkt welke kenmerken het ontwikkelde leerstofontwerp uiteindelijk heeft gekregen. We noemen hier als - met elkaar samenhangende - hoofdkenmerken:

- het in toenemende mate zelfstandig verwerven van kennis door leerlingen - zowel individueel als in groepen - passend bij het studiehuisconcept, wordt bevorderd;
- het concept probleemgestuurd leren is geconcretiseerd in de vorm van probleemtaken;
- er is een didactiek ontwikkeld die hierbij aansluit (tabel 4.2).

In het vervolg van deze paragraaf belichten we van de hoofdkenmerken achtereenvol-

gens de aspecten: het zelfstandig verwerven van kennis door leerlingen, het aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen, het aanbieden van geïntegreerde probleemtaken en het afwisselen van individueel en groepswork. Daarna gaan we na welke consequenties deze aspecten hebben voor het onderwijzen en leren van de leerstof. Tot slot gaan we kort in op de vorm van het leerstofontwerp en de plaats die het inneemt in het curriculum.

Aspecten van de hoofdkenmerken

Zelfstandig verwerven van kennis

Bij het ontwikkelen van het leerstofontwerp wilden onderzoeker en docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College aansluiten bij het studiehuisconcept voor de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs, waarbij het stimuleren van het actief en zelfstandig leren van leerlingen centraal staat. Zelfstandig of zelfregulerend leren beoogt leerlingen verantwoordelijkheid te laten nemen voor hun leerproces. Het aanspreken van de leerlingen op hun (mede)verantwoordelijkheid voor het leerproces kan hun motivatie en betrokkenheid gunstig beïnvloeden (vergelijk Boekaerts & Simons, 1993). ‘Zelfverantwoordelijkheid voor het leerproces’ wordt in het leerstofontwerp bevorderd door het zelfstandig werken aan geïntegreerde probleemtaken (zie onder ‘Geïntegreerde probleemtaken’). Bij zelfstandig leren is het van belang dat leerlingen vaardigheden ontwikkelen om zelf kennis te verwerven. Dit zijn met name vaardigheden op het gebied van probleemoplossen, communicatie en onderzoek, welke zij ook kunnen gebruiken bij het in de toekomst verwerven van nieuwe kennis.

Bij het formuleren van problemen zorgden onderzoeker en docenten voor variatie van onderwerpen in de aangeboden problemen en voor afwisseling van werkvormen (individueel en groepswork, en klassikale momenten; zie ook onder ‘Werkvormen’). Deze afwisseling in werkvormen stimuleert niet alleen de motivatie, maar ook het zelfstandig leren van de leerlingen (vergelijk Bollen, 1995). Het vermogen tot zelfregulerend leren van leerlingen wordt volgens Bollen echter primair ontwikkeld door reflectie op het eigen leerproces. Deze reflectie is voor een leerling in het voortgezet onderwijs nog een moeilijke opgave. Door in een groep met andere leerlingen samen te werken aan een probleemtaak, vindt reflectie min of meer impliciet plaats. Door het stellen van vragen en het geven van uitleg aan elkaar, het reageren op uitingen van anderen, zijn leerlingen namelijk actief bezig met de probleemtaak, waardoor het reflecteren wordt gestimuleerd.

Aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen

Onderzoeker en docenten gingen er bij de formulering van problemen vanuit dat deze moesten aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen. Dit is in overeenstemming met wat diverse auteurs naar voren brengen (vergelijk Van Parreren

1970a,b, 1991; Imelman & Meijer 1986). Deze auteurs wijzen in verband met het belang van 'leren voor buiten de school' op de waarde van toepassing van opgedane kennis en vaardigheden in aan de praktijk ontleende gebruikssituaties. Dit betekent op school het aanleren van kennis en vaardigheden in voor de lerende zinvolle contexten, gerelateerd aan de leefwereld van de leerlingen (vergelijk Ausubel, 1968: 'meaningful learning').

De voor het leerstofontwerp 'het oog' gekozen ingang 'functieafwijkingen' sluit aan bij het bovenstaande. Functieafwijkingen van het oog hebben naar onze mening een hoog realiteitsgehalte en zijn nauw verbonden met de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen. Volgens Bouwens & Verkerk (1988) is voor het vermijden en corrigeren van misconcepties het aansluiten bij deze wereld van groot belang. Deze auteurs wijzen op de discrepantie die bestaat tussen de theoretische kennis van de leerling en het vermogen om deze kennis te gebruiken in alledaagse situaties. Misvattingen blijken vooral aan de dag te treden wanneer de leerlingen aan de hand van situaties uit het dagelijkse leven problemen moeten oplossen.

Het aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen dient plaats te vinden in elke fase van het onderwijsleerproces. In hoofdstuk 1 kwam ter sprake dat een geïntegreerd leerstofaanbod het meest aansluit bij de ongedeelde beleavings- en ervaringswereld van leerlingen. Ook bij het aanbieden van de niet-geïntegreerde leerstof over het oog, voorafgaande aan de geïntegreerde probleemtaken, dient de docent aan te sluiten bij deze wereld. Bij de behandeling van de basisoptica denken we dan bijvoorbeeld aan situaties waarin optische instrumenten als kijkers en microscopen worden gebruikt. De bouw en functie van het oog kan bijvoorbeeld worden geplaatst in de context 'overleven' met onderwerpen als gezichtsvelden bij roofdieren en prooidieren in verband met de positie van de ogen in de schedel en de context 'dag- en nachtdieren', waarbij staafjes en kegeltjes, relatieve grootte van de ogen en tapetum lucidum ter sprake kunnen komen.

Geïntegreerde probleemtaken

Onderzoeker en docenten wilden aansluiten bij de nieuwe examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken, waarin veel aandacht is besteed aan het gemeenschappelijke van en de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken. Daarom kozen zij, als didactische benadering voor het leerstofontwerp, het concept 'probleemgestuurd leren'. Kenmerkend voor probleemgestuurd leren is namelijk het zelfstandig werken in kleine groepen aan probleemtaken en een thematisch interdisciplinaire aanpak.

De onderzoeker en docenten kozen voor het aanbieden van de leerstof in de vorm van *geïntegreerde* probleemtaken. Hieronder verstaan we taken waarin leerstofelementen uit - in ons geval - de biologie en de natuurkunde ongescheiden worden aangeboden in de vorm van problemen. Huhn, Koch, Schwarze & Wagner (1997) kozen ten aanzien van het onderwerp 'het oog en het zien' eveneens voor een geïntegreerde benadering.

De auteurs geven bij dit onderwerp enkele voorbeelden van - overigens niet uitgewerkte - experimenten voor leerlingen, onder meer met betrekking tot de pupilreactie, kleurenzien, scheidend vermogen, nabeelden en stereoscopisch zien. Volgens hen is het problematisch om onderwijs over 'het oog en het zien' te geven in een situatie van gescheiden vakken. Zij bevelen dan ook aan de leerstof aan te bieden in de vorm van een gezamenlijk project of in de vorm van vakkenverbinding. Naar hun mening kan een dergelijke benadering begripsontwikkeling bij de leerlingen bevorderen.

In § 1.3 gaven we aan dat het interdisciplinaire karakter van de biologie als wetenschap en als schoolvak integratie vooronderstelt. Bovendien kwam in § 2.6.3 ter sprake dat een geïntegreerd leerstofaanbod systeemscheiding vermindert, begripsontwikkeling van leerlingen stimuleert en leerlingen beter voorbereidt op de maatschappelijke eisen die aan hen worden gesteld als toekomstige beroepsbeoefenaars. De keuze voor geïntegreerde probleemtaken wordt gesteund door auteurs als Roelofs, Franssen & Groot-scholten (1996), die pleiten voor het formuleren van zogenoemde complexe taken waarin kennis- en vaardigheidsaspecten uit meerdere vakgebieden zijn samengevoegd. Anders gezegd: de door hen bedoelde taken hebben een interdisciplinair karakter. Deze auteurs beschouwen een eenzijdige gerichtheid op één discipline als niet gewenst. Bij het aanleren van kennis moet volgens hen worden uitgegaan van begrippen en werkwijzen van professionals zoals wetenschappers en praktijkbeoefenaren, die veelal niet strikt vanuit één discipline werken (vergelijk Van Parreren, 1970a,b, 1991; Imelman & Meijer, 1986).

Onderzoeker en docenten formuleerden binnen de voorbeeldmatig uitgewerkte probleemtaken een aantal problemen die aansluiten bij reële professionele problemen en werkwijzen in de beroepspraktijk, zoals het werken met de leeskaart en het aanmeten van een nieuwe bril. Daarnaast worden in bijlage 11 'Suggesties voor probleemtaken' voorstellen gedaan voor het werken met dergelijke problemen, bijvoorbeeld het uitvoeren van de proef van Maddox, de gevolgen van lichtschade, en de toepassing van lasers. Bovendien zijn de beschreven experimenten in het algemeen nieuw voor de leerlingen. Genseberger (1997) wijst erop dat experimenten nieuw en afwisselend moeten zijn, een duidelijk doel moeten hebben, moeten lukken en dat er bij voorkeur iets verrassends uit moet komen.

Onderzoeker en docenten kozen voor een uniforme structuur van de op elkaar voortbouwende problemen binnen een probleemtaak, namelijk eerst een introductie op het probleem, vervolgens een beschrijving van het probleem en daarna een opdracht. In de opdrachten wordt leerlingen gevraagd beschreven of zelf waargenomen verschijnselen te verklaren. Het principe van 'op elkaar voortbouwende problemen' impliceert dat leerlingen verschijnselen in een voorafgaand probleem moeten kunnen verklaren om het nieuwe probleem te kunnen oplossen. Yip (1997) is eveneens van mening dat hier een taak ligt voor de docent. Deze moet zich ervan vergewissen dat de leerlingen niet een nieuw probleem aansnijden voordat zij de daartoe benodigde concepten uit het voorgaande beheersen. Een dergelijke werkwijze draagt volgens hem bij tot zinvol leren. De bovengeschetste opzet komt tegemoet aan 'zelfsturing' en 'zelfverantwoorde-

lijkheid', waardoor de leerling inzicht krijgt in de mate waarin hij de leerstof beheerst. Het bevorderen van 'zelfverantwoordelijkheid' van leerlingen wordt ook beoogd in het zogenoemde 'probleemstellende leren' (Klaassen, 1995). Volgens deze auteur is het in een probleemstellende lessenserie belangrijk leerlingen zelf voortdurend bepaalde problemen te laten ontdekken en formuleren. Hierdoor zullen volgens hem de leerlingen beter begrijpen wat ze aan het doen zijn, waarom ze dat op een bepaalde manier doen en in welke richting het leerproces zich ongeveer gaat ontwikkelen. De leerlingen krijgen zo meer controle over hun eigen leerproces, waardoor ze zich meer verantwoordelijk kunnen gaan voelen voor datgene wat zij leren. Klaassen verwacht overigens niet dat elke leerling in staat zal zijn om elk probleem zelf te formuleren, maar wel moet volgens hem worden geprobeerd te bereiken dat elke leerling het zinvol vindt om een antwoord te vinden op voor het vervolg belangrijke vragen.

Werkvormen in relatie tot de verander(en)de rol van kennis in de maatschappij

Onderzoeker en docenten kozen voor een afwisseling van individueel en groepswerk als werkvorm bij het oplossen van probleemtaken door leerlingen. Ook Huhn, Koch, Schwarze & Wagner (1997) kiezen voor een benadering van de leerstof over 'het oog en het zien', waarbij de leerlingen zelfstandig en in groepen - afgewisseld met klassikale momenten - hun eigen optische waarnemingen onderzoeken (vergelijk Yip, 1997). Volgens Genseberger (1997) geven ook leerlingen de voorkeur aan het werken in kleine groepen, vooral wanneer zij inspraak hebben in de samenstelling ervan. Hoewel onze keuze mede berustte op leerpsychologische en met name didactische overwegingen, speelde hierbij vooral een rol het aansluiten bij ontwikkelingen in de maatschappij, waarin samenwerken onontkoombaar is geworden. Derhalve is het leren samenwerken met andere leerlingen noodzakelijk.

Diverse auteurs (Collins, Brown & Newman, 1985; Brown Collins, & Duguid, 1989; Simons, 1990; Van Oers, 1993; en Resnick, 1987) wijzen op het belang van het samenwerken van leerlingen als uitvloeisel van de verander(en)de betekenis van kennis in de maatschappij. In de wetenschap ontstaat kennis door uitwisseling van gegevens en confrontatie van meningen en vindt uiteindelijk co-constructie van kennis plaats. Als voorbereiding op deze situatie moeten leerlingen dit op school leren door samen te werken. Voornoemde auteurs wijzen erop dat in het constructivisme eveneens wordt benadrukt dat kennis ontstaat door onderhandeling, waarbij inzichten, intenties en verwachtingen worden gedeeld en besproken. Vandaar dat zij pleiten voor meer aandacht voor taken waarin leerlingen met elkaar samenwerken zoals bij veel buitenschools leren het geval is. Door het leerstofaanbod te laten aansluiten bij dagelijkse praktijksituaties, krijgen de verworven kennis en vaardigheden voor leerlingen meer het karakter van gereedschap gericht op het oplossen van problemen dat zij kunnen gebruiken bij het verwerven van nieuwe kennis. Het toerusten van leerlingen met een grote hoeveelheid feiten en concepten is immers niet meer voldoende in een maatschappij waarin veranderingen zich in een hoog tempo voltrekken.

Consequenties van de besproken aspecten voor onderwijzen en leren

Het karakter van het leerstofontwerp - de wens om het zelfstandig verwerven van kennis bij leerlingen te bevorderen, aansluiten bij hun beleavings- en ervaringswereld, werken met probleemtaken en een afwisseling van individueel en groepswork - wijkt aanzienlijk af van dat van het 'traditionele' onderwijs. Dit heeft als consequentie dat in dit leerstofontwerp niet alleen van de docent maar ook van de leerling een andere instelling wordt gevraagd.

Consequenties voor onderwijzen

Zoals reeds aangegeven, is het werken met probleemtaken in onze optiek onlosmakelijk verbonden met (het bevorderen van) zelfstandig leren. Het begeleiden van leerlingen bij het werken met probleemtaken uit het leerstofontwerp vergt van de docent dan ook een omschakeling.

Tot op heden is de rol van de docent vooral die van de expert die het leren van de leerlingen direct stuurt via instructie en management. Anders gezegd: de docent verschaft de informatie en beoordeelt of de leerlingen voldoende kennis hebben verworven. Bij het werken met probleemtaken verandert de rol van de docent. Hij moet zijn activiteiten afstemmen op het zelfstandig (doen) leren van leerlingen. De rol van de docent bij zelfstandig leren is als het ware het complement van die van de leerlingen. Naarmate de leerlingen meer in staat zijn hun leergedrag zelf te sturen, zal de docent minder sturing hoeven te geven aan het leerproces. De docent wordt begeleider en stimulator van het leerproces. In die rol biedt hij leerlingen ook faciliteiten om te leren samenwerken, bewaakt hij groepsprocessen en spreekt leerlingen aan op de door hen gevolgde aanpak. Met andere woorden: hij probeert het leergedrag van leerlingen te verbeteren door een procesgerichte in plaats van alleen een leerstof- en prestatiegerichte ondersteuning te bieden (vergelijk Boekaerts & Simons, 1993). Tevens probeert de docent zo goed als mogelijk in te spelen op de (foutieve) preconcepties van leerlingen.

Omdat de leerlingen meestal nog geen ervaring hebben met zelfregulerend leren, zal er bij het oplossen van de probleemtaken door de leerlingen in de praktijk aanvankelijk vooral sprake zijn van 'begeleid leren'. Leerlingen moeten hierbij de problemen wel zelfstandig aanpakken, maar met de docent als ondersteuner voortdurend bij de hand. Bij het begeleiden van de leerlingen dient de docent zich inhoudelijk terughoudend op te stellen. Hij zal zijn leerlingen duidelijk moeten maken dat begeleiding een facilititeit is waarop zij een beroep kunnen doen. Bij vakinhoudelijke vragen van leerlingen zal de docent niet meteen pasklare oplossingen moeten bieden, maar veeleer samen met de leerling moeten proberen om het stagnerende leerproces weer op gang te krijgen. In de loop van het werken aan de aangeboden problemen moet de docent ernaar streven een verschuiving te bewerkstelligen naar meer 'zelfstandig leren'.

Bij het (leren) reflecteren op het eigen leerproces kan de docent reflectie bij leerlingen stimuleren door hen bijvoorbeeld te vragen een verslag te maken van de wijze

waarop zij de problemen hebben opgelost. Daarna kan de docent dit verslag met hen bespreken en hen wijzen op eventuele misvattingen. Voorts wordt reflectie impliciet gestimuleerd doordat leerlingen in een groep met andere leerlingen (leren) samenwerken bij het oplossen van een probleem (zie ook onder 'Zelfstandig verwerven van kennis'). Het is van belang dat de docent het (leren) samenwerken van leerlingen in een groep ondersteunt. Reflectie kan ook worden gestimuleerd in klassegelassen. Klassikale momenten zijn geschikt voor collectieve reflectie: dit betekent bijvoorbeeld het gezamenlijk bespreken van de wijze waarop in de groepjes de oplossingen tot stand zijn gekomen van problemen met betrekking tot leerstofonderdelen, of het bespreken van problemen bij het samenwerken van de leerlingen. Bij deze klassikale momenten moet de docent ervoor zorgen dat de leerlingen voldoende bijdragen leveren, onder andere door een open en veilige sfeer te creëren waarbij hij op voet van gelijkheid met hen discussieert.

Consequenties voor leren

Hoewel de meeste scholen voor vwo en havo de leerlingen al voorbereiden op het zelfregulerend leren in het studiehuis, betekent het werken met de geïntegreerde probleemtaken in het exemplarisch leerstofontwerp voor de leerlingen toch een verandering. Bij dit geïntegreerde leerstofaanbod worden leerlingen niet meer geconfronteerd met afzonderlijke schoolvakken, waarbij de nadruk op kennis ligt. Er is - op den duur - geen sprake meer van een veelal abstracte, sterk gestructureerde en in kleine stapjes opgedeelde leerstof. Concrete praktijksituaties komen niet pas aan de orde in de verwerkingsfase, als toepassing van abstracte kennis. In tegenstelling tot wat bij het traditionele onderwijs veelal gebruikelijk is, vervult de leerling niet meer de rol van passieve consument van informatie (vergelijk Roelofs, Franssen & Grootscholten, 1996). Leerlingen zouden overigens al in de basisvorming moeten worden voorbereid op het zelfstandig leren in het studiehuis. Volgens Schüssler (1996) heeft de basisvorming daartoe echter weinig impulsen gegeven.

Vorm van het leerstofontwerp en de plaats die het inneemt in het curriculum

Volgens Bollen (1995) is voor goed onderwijs de beschikbaarheid van adequate leermiddelen zeer belangrijk en is de afhankelijkheid van docenten hiervan groot. Omdat bleek dat geïntegreerde leerstof over het oog in de biologieboeken niet voorkomt, besloot de onderzoeker om - in samenwerking met een aantal docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum - dergelijke leerstof zelf te ontwikkelen. In eerste instantie gingen onderzoeker en deze docenten na of het mogelijk was het onderwijsveld een handreiking te bieden in de vorm van een studiewijzer bij bestaande leerboeken. Op grond van een analyse van gangbare leerboeken biologie en natuurkunde bleek dit - voornamelijk om didactische redenen - niet mogelijk en is besloten zelf geïntegreerde leerstof te ontwikkelen in de vorm van probleemtaken als

voorbeeld voor deskundigen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers en schoolboeken-schrijvers. Dit voorbeeld van geïntegreerde leerstof bevat niet de zogenoemde basisoptica en de anatomie en functie van het oog. Onderzoeker en docenten vonden namelijk dat deze elementaire leerstof gescheiden moet worden aangeboden, voorafgaand aan de geïntegreerde probleemtaken. Deze opzet komt overeen met de visie van Van Parren (1970a,b, 1991) over hoe een curriculumonderdeel dient te worden opgebouwd, rekening houdend met het spanningsveld tussen het ordelijk beheersen van de leerstof en het minimaliseren van systeemscheiding.

De plaats van het leerstofontwerp binnen het curriculum wordt bepaald door de voorkennis die de leerlingen moeten hebben om de probleemtaken over het oog te kunnen oplossen. Als voorkennis voor de leerlingen is vereist kennis van de bouw en de werking van het oog en de zogenoemde basisoptica. Afhankelijk van de voorkeur van docenten om het ontwerp te laten aansluiten bij andere leerstofonderdelen zoals het zenuwstelsel of het elektromagnetisch spectrum, kan dit worden uitgevoerd in het laatste of het voorlaatste leerjaar. Omdat het leerstofontwerp een exemplarisch karakter heeft en is ontwikkeld voor het planniveau, is het - behalve het concreet uitgewerkte thema 'Zien met één oog' - niet zonder meer bruikbaar voor de onderwijspraktijk. Daartoe zouden eerst de suggesties voor probleemtaken in bijlage 11 moeten worden uitgewerkt. De in deze bijlage aangereikte uitvoerige informatie voor docenten biedt hiervoor voldoende aanwijzingen. Voordat het uitgewerkte leerstofontwerp kan worden toegepast in een bepaalde school zullen met name de biologie- en de natuurkunde-docenten moeten nagaan of de mogelijkheid voor implementatie aanwezig is. Zo moeten zij nagaan welke praktische hulpmiddelen voorhanden zijn en op welke wijze zij de werkvormen willen organiseren. Voorts moeten zij - in verband met de voorkennis van leerlingen - afspraken maken over het tijdstip waarop de probleemtaken het beste in de bovenbouw kunnen worden aangeboden. Tevens moet worden nagegaan welk aandeel de technisch-onderwijsassistent kan hebben in de begeleiding van de leerlingen. Omdat de biologische en fysische aspecten in de problemen uit het leerstofontwerp een gelijkwaardig aandeel hebben, kunnen leerlingen deze problemen zowel onder leiding van de biologie docent als de natuurkundeleraar uitwerken. Aanvankelijk zullen de docenten biologie en natuurkunde - met het oog op het vakgrensoverschrijdende karakter ervan - de probleemtaken gezamenlijk moeten voorbereiden.

4.11.2 Toetsing van het leerstofontwerp aan de didactische uitgangspunten

In deze paragraaf gaan we na in hoeverre het ontwikkelde leerstofontwerp beantwoordt aan de geformuleerde en in tabel 4.2 samengevatte didactische uitgangspunten (§ 4.8).

De uitgangspunten 'vakgrensoverschrijdende aanpak', 'rekening houden met misconcepties', 'hanteren van een duidelijke procedure voor het toepassen van probleemtaken' - waaronder 'aandacht besteden aan de procedurele taken van de docent' - en 'problemen in een realistisch herkenbare context plaatsen' zijn zonder meer herkenbaar in het leerstofontwerp. Dit geldt voor een deel ook voor het 'ontwikkelen van vaardighe-

den', met name voor algemene vaardigheden zoals het leren werken in groepen, logisch redeneren, verklaringen geven en conclusies trekken en voor onderzoeksvaardigheden zoals waarnemen, meten, het uitvoeren van experimenten en het maken van beeldconstructies. Het 'toepassen van verschillende werkvormen' komt aan de orde wanneer leerlingen de in de probleemtaken beschreven verschijnselen trachten te verklaren. Hierbij zoeken zij eerst individueel naar verklaringen, die zij vervolgens in de groep ter sprake brengen, waarna de docent klassikale momenten inlast voor bespreking van de in de diverse groepen gevonden oplossingen. De sequentie van problemen binnen de probleemtaken is erop gericht leerlingen bewust te maken van 'hoofd- en bijzaken'. Zo hebben we er bij de formulering van de problemen naar gestreefd dat de leerlingen gaan inzien dat de ligging van het vertepunt van essentiële betekenis is. Teneinde de leerlingen 'biologische systemen als functionele organisaties te laten beschouwen', gingen we uit van een dynamische benadering van het oog, onder meer door verband te leggen tussen accommodatie en verziendheid, door te benadrukken dat goed zien een kwestie is van afstemming van variabelen binnen de oogstructuren en door aan te geven dat ogen met functieafwijkingen gezien moeten worden als varianten van normaal-ziende ogen.

We concluderen dat een groot deel van de didactische uitgangspunten in het exemplarische leerstofontwerp is gerealiseerd.

Uitgangspunten - uit 'ontwerpend leren' - die wat minder uit de verf komen zijn 'rekening houden met procedures binnen biologisch wetenschappelijk onderzoek', 'leren zelfstandig problemen te genereren en op te lossen', en 'leren zelfstandig biologische kennis te verwerven'. We merken op dat docenten binnen het exemplarische leerstofontwerp wel mogelijkheden kunnen creëren om aan de bovengenoemde uitgangspunten meer aandacht te besteden. Zij kunnen bijvoorbeeld rekening houden met procedures binnen biologisch wetenschappelijk onderzoek door - alvorens de probleemtekst uit te delen - leerlingen hypothesen te laten opstellen en verwachtingen te laten formuleren en hen daarna in de gelegenheid te stellen hun waarnemingen te toetsen. Voorts kunnen zij leerlingen motiveren om nieuwe problemen te formuleren. Leerlingen kunnen bijvoorbeeld met de in bijlage 10 geschetste mogelijkheid om lichtbundels zichtbaar te maken, zelf nieuwe experimenten bedenken en uitvoeren. Het gevolg hiervan kan zijn dat zij zelfstandig biologische kennis verwerven en oog krijgen voor het gegeven dat biologische verschijnselen vaak niet monocausaal kunnen worden verklaard.

Bij het voorbereiden en uitvoeren van een profielwerkstuk (bijlage 11) zouden uitgangspunten met betrekking tot algemene vaardigheden, zoals zelf informatie verwerven en verwerken door het raadplegen van bronnen, en een werkplanning maken gerealiseerd kunnen worden. Dit geldt ook voor een uitgangspunt als 'deel hebben aan theorievorming' en voor een aspect van een 'realistisch herkenbare context' waarin bijvoorbeeld tot uiting komt dat wetenschap mensenwerk is. Dit aspect kan aan de orde komen bij een 'natuurhistorische benadering'. Onderwerpen hiervoor zouden bijvoorbeeld kunnen zijn: 'van beryllium tot excimeerlaser' (een historische benadering van optische correctiemogelijkheden) en 'kleurzientheorieën' (via de theorieën van New-

ton, Young, Von Helmholtz en Hering naar de theorie van de opponente processen). Ook staarbehandelingen en de gevolgen ervan voor het zien, lenen zich voor een natuurhistorische benadering. De componisten Bach en Händel waren - als zovelen - de slachtoffers van rondreizende 'oculisten' in het vroeg-moderne Europa.

4.11.3 Reflectie op het proces van samenwerking

Omdat we veronderstelden dat voor het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen onontbeerlijk zou zijn, was ons onderzoek ook gericht op het proces van samenwerking tussen deze docenten.

Onze indruk is dat vakinhoudelijke samenwerking zich meestal afspeelt *binnen* secties. Ook Van Wessum (1997) wijst erop dat samenwerking tussen docenten zich voornamelijk in sectieverband afspeelt. Volgens haar komt samenwerking tussen docenten van verschillende secties wel voor, maar heeft dit een informeel karakter. Het gaat dan meestal om het uitwisselen van ervaringen of het vragen van advies over het omgaan met leerlingen. Andere auteurs melden eveneens dat er weinig sprake is van samenwerking tussen docenten uit verschillende vaksecties. Deze auteurs onderscheiden overigens naast vakinhoudelijke samenwerking nog een aantal andere categorieën van samenwerkingsinhouden, namelijk pedagogische, pedagogisch-didactische, didactische, organisatorische en samenwerking bij toetsing van leerstof (Reezicht e.a., 1996; Veenhoven, 1997).

Ons vermoeden dat vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de verschillende natuurwetenschappen weinig voorkomt, werd bevestigd door het geringe aantal beschrijvingen van praktijkvoorbeelden van samenwerking/integratie dat we aantreffen in de literatuur. In deze praktijkvoorbeelden troffen we wel enkele gegevens aan over samenwerking tussen docenten bij het aanbieden van geïntegreerde leerstof, maar geen beschrijvingen van het proces van samenwerking tussen docenten bij het ontwikkelen van dergelijke leerstof. Het is echter een ervaringsgegeven dat er in scholen allerlei activiteiten plaats vinden op het gebied van onderwijsvernieuwing, waarover in de literatuur niet wordt gerapporteerd. Daarom deden we mondelinge en schriftelijke oproepen om meer gegevens te verkrijgen over vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de praktijk. Deze oproepen leverden geen nadere informatie op. Ook de Delphi-studie leverde geen praktijkvoorbeelden op van deze samenwerking. Met andere woorden de literatuurstudie en de Delphi-studie leverden nauwelijks concrete aanwijzingen op over hoe de samenwerking tussen de docenten in de natuurwetenschappen en de onderzoeker bij het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof in de praktijkstudie het beste kon worden vormgegeven.

Al snel bleek, dat in de praktijkstudie deze samenwerking gestalte kreeg in de vorm van raadpleging van deskundigen uit de onderwijspraktijk, waarbij de onderzoeker het voortouw nam. De reden van deze beperkte invulling van het samenwerkingsproces was tijdgebrek van de deelnemende docenten. Dit resultaat bevestigde de uitkomsten

van de literatuurstudie, namelijk dat het gezamenlijk ontwikkelen en/of aanbieden van geïntegreerde leerstof slechts onder bijzondere omstandigheden plaatsvond. Ook in de Delphi-studie wezen de geraadpleegde informanten erop dat onder meer chronisch tijdgebrek een belangrijke vakinhoudelijke-samenwerking-remmende factor is.

Omdat werd besloten van het leerstofontwerp alleen het thema 'zien met één oog' voorbeeldmatig geheel uit te werken voor het planniveau, ging de onderzoeker met de docent scheikunde eerst na of het vak scheikunde hieraan een bijdrage zou kunnen leveren. Uit het examenprogramma en de leerstof uit de leerboeken scheikunde bleek dat dit niet of nauwelijks mogelijk was (zie § 4.4.2). Als gevolg hiervan werd de docent scheikunde niet betrokken bij de uitwerking van het thema 'zien met één oog'. Wel formuleerde de onderzoeker samen met hem enkele suggesties voor probleemtaken die zouden kunnen dienen als verrijkingsstof of als basis voor een profielwerkstuk (bijlage 11).

Het aantal leerlingen dat een profielwerkstuk over het oog zal maken waarbij naast biologie ook natuurkunde of scheikunde is betrokken zal echter zeer beperkt zijn. 'Het oog' vormt namelijk slechts een klein onderdeel van de totale leerstof biologie en van natuurkunde, terwijl dit onderwerp in de scheikundeleerstof geheel ontbreekt.

Bij de nadere uitwerking van het leerstofontwerp en de formulering van de overige suggesties voor probleemtaken werkte de onderzoeker samen met docenten biologie en natuurkunde en met de technisch-onderwijsassistenten van deze vakken.

Het zou voor de hand hebben gelegen de samenwerking met de docenten gestalte te geven in de vorm van plenaire - bijvoorbeeld maandelijks - besprekingen. Dit bleek niet mogelijk - zoals gezegd - door tijdgebrek van de betrokken docenten. Het overleg met de docenten verliep in de praktijk als volgt. De onderzoeker ontwikkelde onderdelen van het leerstofontwerp die hij vervolgens voorlegde aan de docenten. De docenten voorzagen deze onderdelen van commentaar en deden suggesties voor verbetering die de onderzoeker verwerkte in een volgende versie van het ontwerp. Deze werkwijze werd gevolgd totdat hieruit een versie van het leerstofontwerp resulteerde die voor alle betrokkenen aanvaardbaar was. Deze versie legde de onderzoeker voor aan enkele deskundigen op het gebied van oogheelkunde en oogheekundige fysica. Deze deskundigen deden enkele suggesties voor verbetering van het ontwerp. Na bespreking van deze suggesties met de docenten bracht de onderzoeker nog enkele verbeteringen in het ontwerp aan, waarmee de definitieve versie ervan gereed was. Uit bovenstaande blijkt dat het ontwikkelingsproces van cyclische aard was en daarmee het karakter had van ontwikkelingsonderzoek.

Bij het ontwikkelen van proeven tijdens de uitwerking van het leerstofontwerp waren ook de technisch-onderwijsassistenten betrokken. De onderzoeker ging met hen na welke materialen beschikbaar waren en hoe de uitvoering van de proeven kon worden gerealiseerd. Vervolgens maakte de onderzoeker proefopstellingen en ging met de biologie en de natuurkundedocenten na of wijzigingen in de opstellingen nodig waren en of de proeven geschikt waren als basis voor bepaalde problemen. Omdat het bespreken van de proeven gedurende een langere periode plaatsvond en er per bespreking slechts

één of enkele ervan aan de orde kwamen, konden veelal zowel een docent biologie als een docent natuurkunde bij het overleg worden betrokken. De onderzoeker legde de proeven ook voor aan een aantal van zijn EHBO-leerlingen. De leerlingen waren zeer gemotiveerd om de experimenten uit te voeren. Vooral het uitgangspunt 'functieafwijkingen van het oog', het werken met de leeskaart, en het onmiddellijke resultaat van de experimenten sprak hen aan. De onderzoeker kreeg de indruk dat de leerlingen zich - al experimenterend - een duidelijk beeld vormden over de biologische en fysische aspecten van het oog. Hij heeft wel ervaren dat de docent bij het in de toekomst laten oplossen van de probleemtaken door leerlingen ervoor moet waken dat de leerlingen zich niet op allerlei 'zijwegen' begeven. Zij waren namelijk geneigd tijdens de voorgeschreven experimenten eigen experimenten in te lassen. Zo bepaalden zij met behulp van de leeskaart bijvoorbeeld 'wie het scherpst kon zien' en wat het effect was van het afzetten van de bril. Ook gingen zij na welk effect allerlei lenzencombinaties hadden op het zien. Brildragende leerlingen experimenteerden bovendien met het 'sterker' en 'zwakker' maken van hun bril door de afstand tussen brillenglas en oog te variëren. Het tonen van eigen initiatief van leerlingen is natuurlijk aanbevelenswaardig, maar de docent moet erop bedacht zijn dat hierdoor de logische opbouw van de problemen binnen de probleemtaken niet wordt verstoord.

Op grond van opmerkingen van de leerlingen besloten onderzoeker en docenten enkele suggesties voor probleemtaken te laten vervallen. De leerlingen vonden namelijk bepaalde proeven te ingewikkeld en gaven aan dat zij daardoor eerder in verwarring werden gebracht dan dat zij meer inzicht in de werking van het oog kregen.

Het bovengeschetste overleg tussen onderzoeker en docenten kon worden gerealiseerd als gevolg van een aantal gunstige omstandigheden. De onderzoeker gaf - zoals aangegeven - tot juli 1999 nog enkele lessen EHBO aan het Comenius College, nadat hij vele jaren aan deze school was verbonden als docent biologie en als corrector van de bovenbouw van het vwo. Mede door zijn contacten met de docenten in de natuurwetenschappelijke vakken kon hij een aantal van hen bereid vinden hun medewerking aan het leerstofontwerp te geven. De docenten werden daarbij gemotiveerd door hun belangstelling voor het onderwerp van het leerstofontwerp. Het overleg tussen de onderzoeker en de docenten werd vergemakkelijkt doordat de secties biologie, natuurkunde en scheikunde zijn gehuisvest in belendende lokalen in een aparte practicumvleugel.

Tijdens de ontwikkeling van het leerstofontwerp raadpleegde de onderzoeker meestal enkele keren per week individuele docenten. Een dergelijk intensief overleg zou waarschijnlijk niet mogelijk zijn geweest met docenten van een andere school.

Uit het voorgaande blijkt dat er geen sprake was van een gestructureerd overleg tussen de onderzoeker en de docenten noch van vakinhoudelijke samenwerking tussen de docenten biologie en natuurkunde. Diverse auteurs menen wel dat met de invoering van de doorstroomprofielen en het studiehuis in de nieuwe tweede fase vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten onontkoombaar zal worden (Wubbels, 1996; Zijlstra, 1996; Van der Kroft, 1997; Veenhoven, 1997).

Tot slot gaan we na in hoeverre de wijze waarop onderzoeker en docenten samenwerken bij het ontwikkelen van het leerstofontwerp, past binnen het continuüm van de mate van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten bij het integreren van leerstof uit de afzonderlijke natuurwetenschappelijke vakken (zie hoofdstuk 2, figuur 2.1). Onderzoeker en docenten ontwikkelden volledig geïntegreerd lesmateriaal. Met betrekking tot het continuüm (stadium 11) betekent dit dat er geen sprake is van individuele besluitvorming, maar van een maximale collectieve besluitvorming. De wijze van samenwerking tussen onderzoeker en docenten, waarbij het consensusmodel werd gehanteerd, sluit hierbij aan. Een versie van een geïntegreerd leerstofonderdeel werd pas als definitief beschouwd wanneer alle betrokkenen instemden met de formulering ervan. We kunnen dan ook concluderen dat de wijze van samenwerken tussen onderzoeker en docenten bij het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal past in het continuüm van de mate van integratie en samenwerking.

4.12 Verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp

Het exemplarisch leerstofontwerp werd voorgelegd aan deskundigen uit het onderwijsveld, teneinde het draagvlak ervoor in de praktijk te verkennen en daarmee antwoorden te geven op deelonderzoeksvraag: *‘Op welke wijze vond de verkenning plaats van het draagvlak voor het leerstofontwerp en wat waren hiervan de uitkomsten?’* We overwogen het ontwerp voor te leggen aan de in de Delphi-studie geraadpleegde deskundigen. Omdat een deel van hen niet meer werkzaam was als docent, besloten we het leerstofontwerp voor te leggen aan biologiedocenten (§ 4.12.1) en - vanwege onze keuze in § 4.7 - aan deskundigen van het planniveau zoals deskundigen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers en schoolboekenschrijvers (§ 4.12.2).

4.12.1 Meningen van biologiedocenten

Teneinde een indruk te krijgen van het draagvlak voor het leerstofontwerp in de onderwijspraktijk in de nieuwe tweede fase, organiseerde de onderzoeker tijdens een NIBI/NVON-nascholingsconferentie over ‘Ontwikkelingen in biologie en onderwijs’ op 17 en 18 januari 1997 te Driebergen, twee keer een workshop waarin hij het leerstofontwerp presenteerde en een aantal experimenten hieruit liet uitvoeren door ervaren docenten biologie in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs.

Aan het einde van elke workshop heeft de onderzoeker de deelnemers een vragenlijst voorgelegd over het exemplarisch leerstofontwerp (bijlage 12). De vragen - in de vorm van stellingen - waren geordend in drie categorieën, namelijk ‘vakinhoudelijke samenwerking’, ‘didactische benadering’ en ‘probleemtaken’. De vragenlijst begon met een categorie ‘algemeen’ waarin onder meer werd gevraagd naar leeftijdscategorie en aantal jaren onderwijservaring van de docenten en of zij naast biologie ook lesgeven in een andere natuurwetenschap.

Omdat een aantal docenten - mondeling of schriftelijk - liet weten dat de tijd voor beantwoording van vragen uit de derde categorie te kort was, verzocht de onderzoeker deze deelnemers de betreffende vragen op korte termijn alsnog te beantwoorden en hem de beantwoorde vragen toe te zenden. De meeste docenten voldeden aan dit verzoek.

In totaal namen 47 docenten deel aan de workshops, waaronder zes docenten die uitsluitend in onderbouw, mavo of lbo/lhno lesgeven.

De deelnemende bovenbouwdocenten geven les aan scholen verspreid over het hele land en 75% van hen heeft een onderwijservaring van meer dan vijf jaar in de bovenbouw van het vwo. Enkele bovenbouwdocenten geven behalve biologie ook natuurkunde en/of scheikunde. Van hen geeft één docent natuurkunde in het vbo en scheikunde in de mavo. Drie docenten geven scheikunde, respectievelijk in de mavo, de havo en een lerarenopleiding.

We veronderstellen dat docenten die een dergelijk congres bijwonen wellicht een wat meer dan gemiddelde belangstelling hebben voor nieuwe ontwikkelingen in het onderwijs, in ons geval voor mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen en integratie van leerstof in het profiel 'Natuur en Gezondheid'.

In tabel 4.5 geven we een overzicht van de gemiddelde scores per vraag van deelnemers die (ook) in de bovenbouw van het vwo lesgeven en van deelnemers die in de onderbouw vwo/havo c.q. mavo, lbo/lhno lesgeven. Daarna geven we een korte toelichting.

De eerste categorie van vragen betreft vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding. In de toelichting bij de vragen van deze categorie heeft de onderzoeker tijdens de workshops erop gewezen dat vakinhoudelijke samenwerking betrekking heeft op het gezamenlijk ontwikkelen en/of aanbieden van geïntegreerde leerstof. De door ons met 'vakkenverbinding' aangeduide vorm van vakinhoudelijke samenwerking is in feite een vorm van integratie van leerstofonderdelen (zie tabel 2.1).

Deelnemers aan de workshop reageerden positief op de inhoud van de vragen uit de eerste categorie. Zij vinden vakkenverbinding of een kleinschalig project een haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking (vraag 1), zij vinden vakinhoudelijke samenwerking noodzakelijk bij het ontwikkelen van probleemtaken c.q. onderwerpen voor een profielwerkstuk (vraag 2) en zij verwachten van vakinhoudelijke samenwerking een positieve invloed op de begripsvorming bij leerlingen (vraag 3). Bij deze categorie koos 90% van de 'deelnemers bovenbouw' voor een score van 4 of 5 ('eens' of 'zeer eens'). Voor de 'deelnemers onderbouw' was dit percentage 83.

Tabel 4.5: Overzicht van gemiddelde scores per vraag van docenten 'bovenbouw' en 'onderbouw' (zie voor de vragenlijst bijlage 12).

Onderwerp	Vraag	Score 'bovenbouw'	Score 'onderbouw'
Vakinh. samenw.	1	4.3	4.7
	2	4.1	3.7
	3	4.1	4.7
Didact. benadering	1	4.1	4.3
	2	4.0	3.7
	3	4.3	4.3
	4	4.3	4.7
	5	4.2	4.5
	6	4.0	4.3
Probleemtaken	1	4.1	3.5
	2	4.0	3.7
	3	4.0	4.3
	4	4.0	3.2
	5	4.4	3.6

De keuze voor probleemgestuurd leren als didactische benadering van het leerstofontwerp wordt gesteund door de resultaten van de veldraadpleging. Deelnemers aan de workshops beschouwden probleemgestuurd leren via probleemtaken als een haalbare didactische benadering (vraag 1). Zij vonden de procedure voor het hanteren van probleemtaken bruikbaar in de nieuwe tweede fase (vraag 2). Voorts waren zij van mening dat vakinhoudelijke samenwerking via probleemtaken een gunstige invloed heeft op het zelfstandig leren van leerlingen (studiehuiskoncept) (vraag 3). Verder vonden zij het gebruik maken van functieafwijkingen een zinvolle benadering bij 'het oog' (vraag 4) en verwachtten ze dat deze benadering begripsvorming bij leerlingen kan bevorderen (vraag 5). Ten slotte was het merendeel van hen het eens met de stelling dat een benadering via functieafwijkingen c.q. pathologie ook bruikbaar lijkt voor andere onderwerpen dan het oog, zoals diabetes, nierfunctiestoelingen, syndroom van Down enzovoort (vraag 6). Bij deze categorie koos 81% van de 'deelnemers bovenbouw' score 4 of 5 en van 'deelnemers onderbouw' 86%.

Bij vraag 7 in de categorie 'didactische benadering' vroegen we docenten ter aanvulling onderwerpen te noemen die geschikt zijn om te benaderen via functieafwijkingen c.q. pathologie. Bovenbouwdocenten noemen de volgende onderwerpen: gewrichten, meniscus, hernia, spierwerking, hartwerking, hemofilie, sikkelcelanemie, CARA, ziekte van Parkinson en gedrag. Onderbouwdocenten noemen geen onderwerpen.

In het exemplarisch leerstofontwerp over de geometrische optica werkten onderzoeker en docenten het thema 'zien met één oog' uit in de vorm van probleemtaken. Deelnemers aan de workshop beoordeelden het hen voorgelegde deel van het leerstofontwerp positief. Zij vonden dat de probleemtaken een samenhangend geheel vormden (vraag 1), dat de formulering ervan duidelijk was (vraag 2) en dat de vormgeving ervan - introductie-probleem-opdracht - goed was (vraag 3). De deelnemers overwogen het to-

taal (vraag 4) of een deel (vraag 5) van de probleemtaken over 'het oog' in de toekomst te gebruiken. Bij de eerste drie vragen van deze categorie koos 89% van de 'deelnemers bovenbouw' score 4 of 5 en van de 'deelnemers onderbouw' 72%. De lagere scores van de 'deelnemers onderbouw' bij de meeste van deze vragen liggen voor de hand, omdat het leerstofontwerp is bedoeld voor de bovenbouw, zoals enkelen van hen ook vermeldden.

De formulering van de vragen 4 en 5 liet te wensen over (respectievelijk of de deelnemers overwegen het totaal van de probleemtaken óf een deel ervan in de toekomst te gebruiken). Het gevolg hiervan was dat een aantal deelnemers zowel bij vraag 4 als ook bij vraag 5 een score van 4 of 5 invulde.

We concluderen dat de deelnemers aan de workshops een (zeer) positieve stelling innemen ten aanzien van de gestelde vragen over het exemplarische leerstofontwerp. Dit geldt met name voor onze doelgroep, de deelnemers die ook in de bovenbouw van het vwo lesgeven.

We maken bij de raadpleging van de docenten nog de volgende kanttekening. De aan de workshops deelnemende docenten waren geïnteresseerd in het leerstofontwerp en kunnen dus niet als representatief worden beschouwd voor de Nederlandse biologiedocenten in de bovenbouw van vwo en havo. Een tweede bezwaar van deze veldraadpleging was dat tijdens de conferentie niet de mening van docenten natuurkunde en scheikunde kon worden gevraagd.

4.12.2 Meningen van deskundigen van het planniveau

In deze paragraaf gaan we na in hoeverre het leerstofontwerp voldoet aan de eisen die daaraan worden gesteld door deskundigen van het planniveau. Eerst gaan we in op de bij deze raadpleging gevolgde werkwijze, daarna volgt een bespreking van de resultaten.

Werkwijze

We besloten de geselecteerde deskundigen van het planniveau afzonderlijk te benaderen met het verzoek het leerstofontwerp te beoordelen aan de hand van een vragenlijst en in een interview met de onderzoeker hun bevindingen te bespreken.

Aanvankelijk kozen we als methode voor de raadpleging van de deskundigen op planniveau omtrent de bruikbaarheid van het leerstofontwerp in de praktijk voor een zogenoemd 'focusgroup interview'. Met behulp van deze techniek kan op korte termijn inzicht worden verkregen in een bepaalde problematiek, in casu de bruikbaarheid van het leerstofontwerp in de praktijk (Morgan, 1988; Holstein & Gubrium, 1995; vergelijk Reygel, 1997). Een aantal zorgvuldig geselecteerde en geformuleerde vragen wordt voorgelegd aan een forum van vijf tot tien participanten. In een dergelijk groepsgeprek worden genuanceerde antwoorden verkregen op de gestelde vragen.

In ons geval is getracht twee groepen van deskundigen te formeren voor een focus-group interview, namelijk een groep van deskundigen uit de verzorgingsstructuur en een groep van deskundigen bestaande uit uitgevers en auteursteams van schoolboeken. In de praktijk bleek deze opzet echter niet haalbaar, omdat een belangrijk deel van de aangezochte deskundigen aangaf door tijdgebrek niet of alleen schriftelijk als respondent te kunnen fungeren.

Uiteindelijk werden drie groepen van deskundigen geraadpleegd, namelijk deskundigen op het gebied van de natuurwetenschappen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers van natuurwetenschappelijke schoolboeken en docenten in de natuurwetenschappen die tevens deeluitmaken van een auteursteam van schoolboeken. In tabel 4.6 geven we een overzicht van deze deskundigen.

Uit het overzicht blijkt dat ongeveer de helft van de gevraagde deskundigen positief reageerde op het verzoek om het leerstofontwerp te beoordelen. Deskundigen die niet in staat waren hun medewerking te verlenen, noemden allen tijdgebrek als reden hiervoor. Auteurs van schoolboeken die wel meewerkten aan de beoordeling van het leerstofontwerp konden geen tijd vrijmaken voor een interview en reageerden daarom schriftelijk op de hen bij het leerstofontwerp toegezonden vragen.

Tabel 4.6: Overzicht van aantallen benaderde en meewerkende deskundigen op planniveau, ingedeeld naar functie en vakachtergrond/aandachtsgebied.

	Biologie		Natuurkunde	
	Benaderd	Werkten mee	Benaderd	Werkten mee
Verzorgingsstructuur	2	2	1	1
Uitgevers	3	1	2	1
Auteurs	4	2	3	1
Totaal	9	5	6	3

De voor het interview opgestelde vragen hadden betrekking op drie onderwerpen, namelijk integratie van leerstofonderdelen van de natuurwetenschappen na invoering van het toekomstige profiel 'Natuur en Gezondheid', kenmerken van het leerstofontwerp, en het totaaloordeel van respondenten over dit leerstofontwerp. De geformuleerde vragen staan in bijlage 13.

De onderzoeker peilde telefonisch de bereidheid van de deskundigen om deel te nemen aan het interview en zond hen ongeveer een maand voor het interview het exemplarisch leerstofontwerp (§ 4.10), de didactische uitgangspunten (§ 4.8), de wijze van uitwerking van het leerstofontwerp (§ 4.9) en de vragen voor het interview. De onderzoeker trad op als interviewer. De uitgevers gaven er de voorkeur aan om gezamenlijk te worden geraadpleegd. Ditzelfde gold voor twee van de drie deskundigen uit de verzorgingsstructuur. Elk interview duurde 60-90 minuten. De gesprekken werden gere-

gistreerd met een cassette recorder.

De onderzoeker constateerde dat het gelijktijdig interviewen van twee deskundigen - als gevolg van de optredende interactie tussen de participanten - leidde tot een meer genuanceerde stellingname ten aanzien van de geformuleerde vragen, dan bij het interviewen van één deskundige.

De verwerking van de gegevens vond als volgt plaats. De onderzoeker maakte verslagen van de interviews en zond deze ter goedkeuring aan de deskundigen. Hij verwerkte hun commentaren in de definitieve versies van de verslagen. Vervolgens maakte de onderzoeker een overzicht van alle standpunten en bijbehorende argumentatie (vergelijk Reygel, 1997).

Bespreking van de resultaten

In bijlage 13 zijn per vraag de antwoorden van de drie groepen respondenten weergegeven. Hieronder volgt een bespreking van deze resultaten. We merken op dat de respondenten alleen beschikten over het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp (§ 4.10). In hun commentaren brachten zij ook onderwerpen ter sprake die zijn vermeld in de - hun niet toegezonden - bijlage 11: 'Suggesties voor probleemtaken'.

Meningen van deskundigen over integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid'

De respondenten vinden om diverse redenen integratie van leerstof een goede zaak. Ze wijzen bijvoorbeeld op het streven naar samenhang in de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken, het interdisciplinaire karakter van het profielwerkstuk en het bevorderen van een goede aansluiting op de vervolgopleidingen. Een geïntegreerd leerstofaanbod biedt volgens respondenten veel voordelen voor leerlingen en docenten. Een dergelijk aanbod sluit aan bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen en maakt het hanteren van een uniforme terminologie mogelijk. Bovendien kunnen realistischer leercontexten worden gekozen en wordt de motivatie van leerlingen gestimuleerd.

Docenten kunnen volgens respondenten van elkaars inzichten, ervaring en didactische aanpak profiteren en hun motivatie zal toenemen. Daarnaast zal het beschikbaar komen van geïntegreerde leerstof een goede aanzet vormen tot naar hun mening onontkoombare samenwerking tussen docenten in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs en als gevolg hiervan ook met en tussen de technisch-onderwijsassistenten.

Hoewel volgens respondenten een geïntegreerd leerstofaanbod voor de leerlingen meer voor- dan nadelen heeft, noemen zij wel enkele nadelen voor leerlingen en ook voor docenten. Leerlingen - met name havo leerlingen - zien wellicht moeilijker verbanden tussen leerstofonderdelen *binnen* de afzonderlijke vakken. Ook zouden leerlingen in verwarring kunnen raken door een verschillende didactische aanpak van docenten bij het aanbieden van geïntegreerde leerstof.

Voor docenten brengt het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof een grote tijdsinvestering met zich mee. Bovendien ontbreekt vaak een duidelijke overlegstructuur in de schoolorganisatie en hebben docenten tijdens hun opleiding geen kennis gemaakt met het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof. Respondenten achten nascholing dan ook onontbeerlijk. Vrees van docenten voor identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken en voor verlies van autonomie kan volgens sommige respondenten de motivatie van docenten voor integratie nadelig beïnvloeden. In de nieuwe tweede fase zal er volgens hen overigens nog nauwelijks plaats zijn voor autonomie van docenten.

We concluderen dat respondenten integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid' (zeer) gewenst vinden. Zij noemen slechts enkele nadelen van integratie voor leerlingen en docenten. Enkele respondenten merken op dat bij het aanbieden van (geïntegreerde) leerstof er altijd verschillen zijn in de concrete didactische aanpak door docenten. We benadrukken dat bij het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof wel moet worden uitgegaan van een uniforme didactische *benadering*. Docenten uit de deelnemende vakken die geïntegreerde leerstof willen aanbieden, zullen zich dan ook moeten conformeren aan de gekozen didactische benadering.

Meningen van de deskundigen over het leerstofontwerp

De keuze van een probleemgestuurde benadering

De respondenten vinden een probleemgestuurde benadering bij een ontwerp van geïntegreerde leerstof een uitstekende keuze. Volgens hen sluit een dergelijke benadering goed aan bij de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze en bij het studiehuisconcept. Voorts verwachten zij dat probleemgestuurd leren de motivatie en het leerproces van de leerlingen zal bevorderen.

We concluderen dat respondenten de keuze van een probleemgestuurde benadering van het leerstofontwerp positief beoordelen. Evenals onderzoeker en docenten vinden zij dat de probleemgestuurde benadering goed aansluit bij het studiehuisconcept (§ 4.5.2).

De mate waarin rekening werd gehouden met misconcepties

De respondenten zijn van mening dat de onderzoeker en de docenten er bij de formulering van de probleemtaken goed in slaagden rekening te houden met misconcepties. Enkele van hen stellen voor een diagnostische toets te ontwikkelen, teneinde na te kunnen gaan in hoeverre misconcepties bij leerlingen zijn opgeheven c.q. verminderd. Eén respondent heeft behoefte aan meer informatie over 'het vertepunt'.

We concluderen dat respondenten van mening zijn dat de opzet van de probleemtaken kan leiden tot het vermijden van misconcepties bij leerlingen. Het voorstel om een diagnostische toets toe te voegen aan de probleemtaken is waardevol. We geven in bijlage 14 een voorbeeld van een opgave voor een dergelijke toets. Het verzoek van één van hen om aanvullende informatie over het begrip 'vertepunt' in de 'Informatie voor

docenten' is terecht. De omschrijving van dit begrip verdient inderdaad nadere toelichting. We geven daarom in bijlage 14 extra informatie over het begrip 'vertepunt'.

Het uitgaan van functieafwijkingen

De respondenten vinden het uitgaan van functieafwijkingen bij het formuleren van de probleemtaken een uitstekende keuze. Zij noemen hiervoor de volgende argumenten: functieafwijkingen geven de leerlingen meer inzicht in het oog als biologisch systeem, sluiten aan bij hun beleavings- en ervaringswereld, zijn geschikt voor een experimentele benadering en geven de leerlingen een indruk van bepaalde beroepen. Verder sluit dit uitgangspunt volgens respondenten goed aan bij het ziekte- en gezondheidsdenken en zien de leerlingen dat de grenzen tussen 'normaal' en 'afwijkend' vloeiend verlopen. Enkele respondenten merken op dat in plaats van functieafwijkingen ook pathologische processen kunnen worden gekozen als uitgangspunt bij het formuleren van de probleemtaken.

We concluderen dat respondenten de keuze voor functieafwijkingen als startpunt voor het formuleren van probleemtaken steunen. We merken volledigheidshalve op dat bij een pathologisch proces er een grens wordt overschreden: er is geen sprake meer van varianten in anatomische parameters, maar van weefselschade. In de suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) maken onderzoeker en docenten overigens wel gebruik van pathologische afwijkingen, bijvoorbeeld bij 'staar' omdat het hier gaat om beeldgrootteverschillen in verband met fusie van beelden bij toepassing van correctiemiddelen als staarbrillen en implantlenzen. Uiteindelijk wordt in de suggestie voor het probleem de functie van de ooglenzen in het normale oog verduidelijkt, door na te gaan welke gevolgen het ontbreken van de lens voor het zien heeft.

Het experimentele karakter van de probleemtaken

De respondenten vinden een experimenteel karakter van probleemtaken uitstekend omdat het verrichten van waarnemingen en het uitvoeren van proeven inherent is aan de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze. Volgens hen worden de leerlingen door een dergelijke opzet van de probleemtaken gemotiveerd.

De formulering van de leerlingenteksten

Volgens de respondenten is de opzet, formulering en sequentie van de beschreven problemen uitstekend. Zij doen wel enkele suggesties voor verbetering van het leerstofontwerp. Zo merken enkele respondenten op dat het bij bepaalde problemen aanbeveling verdient leerlingen te vragen een systematische proefopzet te maken met een hypothese en een meetvoorstel. Eén respondent merkt in dit verband op dat dergelijke activiteiten van leerlingen pas kunnen worden gevraagd, nadat zij vertrouwd zijn geraakt met het oplossen van problemen zoals deze zijn geformuleerd in het leerstofontwerp. Enkele respondenten menen dat enige variatie in de formulering van de opdrachten voor leerlingen motiverend kan werken.

Een andere suggestie betreft de formulering van de leerlingenteksten. Volgens enkele

respondenten is er niet altijd een duidelijke scheiding tussen probleem en opdracht en is er veelal sprake is van een beschrijving van verschijnselen. Andere respondenten zijn overigens van oordeel dat de formulering van de leerlingenteksten weinig of niets te wensen overlaat. Voorts bevelen enkele respondenten aan zo nu en dan gegevens bij de problemen aan te bieden in de vorm van figuren.

We concluderen dat respondenten de wijze van formuleren van de leerlingenteksten in het algemeen positief beoordelen, maar dat zij daarbij wel enkele suggesties doen voor verbetering.

We stemmen in met de respondent die stelt dat leerlingen eerst vertrouwd moeten zijn geraakt met het oplossen van problemen zoals deze zijn geformuleerd in het leerstofontwerp, alvorens van hen gevraagd kan worden zelf een systematische proefopzet te maken met een hypothese en een meetvoorstel.

Het is juist dat leerlingen ook kennis moeten maken met anders gestructureerde problemen. De suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) bieden hiertoe goede mogelijkheden.

Bij de keuze van de probleemgestuurde benadering van de taken baseerden onderzoeker en docenten zich op Moust & Schmidt (1995; zie § 4.5). In hun visie bestaat een probleemtaak uit een min of meer neutrale beschrijving van een aantal verschijnselen of gebeurtenissen die in een zekere relatie tot elkaar staan. Leerlingen krijgen de opdracht na te gaan hoe die verschijnselen met elkaar samenhangen en hoe die mechanismen procesmatig verlopen. Volgens deze auteurs dient een probleem te bestaan uit een titel een tekst en een instructie c.q. opdracht. De genoemde probleemtaken zijn bedoeld voor studenten aan een universiteit en hebben een vrij grote omvang. Van deze studenten wordt verwacht dat zij een aantal weken intensief bezig zijn met een dergelijke taak. Onderzoeker en docenten hebben de twee probleemtaken die zij geheel uitwerken, onderverdeeld in zogenoemde problemen, omdat een dergelijke benadering in eerste instantie beter geschikt is voor leerlingen uit het voortgezet onderwijs.

In sommige problemen in het leerstofontwerp hebben onderzoeker en docenten gepoogd een cognitief conflict voor de leerlingen te creëren, waardoor zij denken 'Zit het nu zus of zo'? Zo is in probleem B4: 'Ver zien'. een leerling ten tonele gevoerd die ondanks een functieafwijking zonder bril toch scherp ziet in de verte, terwijl de leerlingen op grond van voorgaande problemen menen dat zoiets toch niet mogelijk is.

Enkele respondenten merken op dat er tussen probleem en opdracht - zoals bij probleem B4: 'Ver zien' - niet altijd een duidelijke scheiding is. Deze kritiek is juist. We geven in bijlage 14 een gewijzigde versie van probleem B4.

Onderzoeker en docenten hebben de problemen niet van figuren voorzien, omdat naar hun oordeel het maken van figuren door leerlingen een essentieel onderdeel is van de opdrachten. Het aanbieden van figuren in de probleemtaken betekent dan ook dat vaak een deel van de oplossing van het probleem wordt 'prijsgegeven'. Het construeren van figuren is voor de leerlingen bovendien weinig tijdrovend, omdat zij beschikken over oogschema's waarin zij alleen de constructiestralen moeten tekenen en eventueel de lenskromming moeten wijzigen. Dit neemt niet weg dat problemen die alleen bestaan

uit een tekst voor leerlingen uitermate saai en daardoor weinig motiverend zijn. Bij een nadere uitwerking voor de onderwijspraktijk door deskundigen van het planniveau is het dan ook zeer gewenst het ontwerp te voorzien van illustraties. Zo'n illustratie - bijvoorbeeld in de vorm van een cartoon - moet de leerling onmiddellijk focussen op de essentie van het beschreven probleem. De onderwijspraktijk leert dat een goede illustratie bij een probleem een steun is voor leerlingen bij het onthouden van de aangeboden informatie en de daarbij gevonden oplossing. We geven in bijlage 14 enkele voorbeelden van dergelijke illustraties.

De inhoud van de toelichtingen voor de docenten

De respondenten hebben een positief oordeel over deze toelichtingen. Wel zou een deel van hen deze toelichtingen voor de docenten graag zien uitgebreid met figuren. De onderzoeker en de docenten natuurkunde bespraken de probleemtaken en de bijbehorende informatie inderdaad steeds aan de hand van een groot aantal ter plekke gemaakte schema's van de stralengang. Deze procedure werd gevolgd, omdat uitwisseling van biologische en fysische informatie op deze wijze op een snelle en duidelijke manier kon worden gerealiseerd en om na te gaan of leerlingen bij het construeren van de stralengang in de oogschema's niet op onoverkomelijke moeilijkheden zouden stuiten.

Gezien het bovenstaande is de wens van respondenten om figuren aan de informatie toe te voegen begrijpelijk. Bij de uitwerking van deze informatie voor de onderwijspraktijk zouden deskundigen van het planniveau de informatie kunnen bundelen in een handleiding voor docenten en kunnen voorzien van figuren, die in de bestaande leerboeken ruimschoots voorhanden zijn.

Totaaloordeel over het leerstofontwerp

De respondenten vinden het onderwerp 'het oog' bij uitstek geschikt voor een ontwerp van geïntegreerde leerstof vanwege het gelijkwaardige aandeel van biologie en natuurkunde in de geformuleerde probleemtaken. Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden het leerstofontwerp bovendien goed bruikbaar voor nascholing van docenten in de natuurwetenschappelijke vakken en uitgevers zien het ontwerp als een opmaat voor toekomstige leermethoden. Auteurs van schoolboeken vinden dat het ontwerp past in toekomstige leermethoden en materiaal bevat voor het ontwikkelen van profielwerkstukken, gebaseerd op probleemgestuurd leren.

Ten aanzien van de deelonderzoeksvraag 'Op welke wijze vond de verkenning plaats van het draagvlak voor het leerstofontwerp en wat waren daarvan de uitkomsten?', concluderen we dat de gedachte van integratie van leerstof uit de natuurwetenschappelijke vakken na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid' brede weerklank vindt onder de geraadpleegde deskundigen en dat er een duidelijk draagvlak bestaat voor het ontwerp van geïntegreerde leerstof.

Als deelantwoord op de onderzoeksvraag vermelden we dat tijdens een workshop 47 geraadpleegde ervaren biologiedocenten een positief oordeel hadden over de bruik-

baarheid van het leerstofontwerp in de praktijk (§ 4.12.1).

Daarnaast hadden de geraadpleegde deskundigen van het planniveau (acht respondenten) een (zeer) positief oordeel over de bruikbaarheid van het exemplarisch leerstofontwerp voor het planniveau. Volgens hen sluit het ontwerp goed aan bij het studiehuisconcept in de nieuwe tweede fase waarin actief en zelfstandig leren een grote rol spelen, en bij de praktijk van het (natuur)wetenschappelijk onderzoek waarbij een geïntegreerde benadering van problemen in toenemende mate wordt gehanteerd. Voorts hebben zij veel waardering voor de benadering van het oog als biologisch systeem. Een geïntegreerde benadering van het oog via probleemtaken, uitgaande van functieafwijkingen kan volgens hen de eigenschappen van een biologisch systeem voor leerlingen verhelderen en sluit goed aan bij de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen.

4.13 Empirische toetsing van de probleemtaken

Een deel van het leerstofontwerp dat we voor het planniveau hebben ontwikkeld, is uitgewerkt in een voor docenten (en leerlingen) bruikbare vorm (§ 4.10). De bij de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp geraadpleegde deskundigen hadden een positief oordeel over de bruikbaarheid van dit deel van het ontwerp (§ 4.12). Het was echter nog een open vraag of de in probleemtaken uitgewerkte leerstof werkelijk met succes uitvoerbaar zou zijn in de klas. Daarom besloten we deze probleemtaken op een ‘doorsnee’-school te laten uitproberen, om antwoorden te kunnen geven op deelonderzoeksvraag: *‘Wat waren de uitkomsten van een toetsing van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp onder normale schoolomstandigheden?’*

We vonden een ervaren docent biologie van de KSG De Breul in Zeist - een reguliere scholengemeenschap voor mavo, havo en vwo - bereid om de probleemtaken in het najaar van 1999 in de klas te toetsen. Omdat hij niet betrokken is geweest bij het ontwikkelen van het leerstofontwerp, konden we ook een aanwijzing krijgen of biologie-docenten zonder bijscholing op dit gebied, conform het scenario met de probleemtaken kunnen werken.

De doelen van de empirische toetsing formuleren we in de onderstaande vier subvragen.

1. *Kan de docent conform het scenario met de ontwikkelde leerstof werken?*
2. *Zijn de in de probleemtaken geformuleerde problemen voldoende motiverend voor de leerlingen?*
3. *Zijn de in de probleemtaken geformuleerde problemen geschikt om door leerlingen zelfstandig te worden verwerkt?*
4. *Heeft het oplossen van de problemen bij de leerlingen geleid tot toename van kennis en inzicht?*

Ter beantwoording van deze vragen hanteerde de onderzoeker de volgende instrumenten.

- Observatie van de activiteiten van de betrokken docent tijdens de uitvoering van de probleemtaken (vraag 1).
- Observatie van de leerlingen(groepen) tijdens het werken aan de probleemtaken (vraag 2, 3).
- Informatie via de docent uit de klassikale bespreking na de uitvoering van de probleemtaken (vraag 2).
- Gesprekken met de docent over de onderwerpen genoemd in vraag 1-4 hierboven.
- Toetsing van de toename van kennis en inzicht bij de leerlingen met behulp van een pre- en een posttest (vraag 4).

In § 4.13.1 geven we een overzicht van de opzet van de empirische toetsing. In § 4.13.2 beschrijven we de voorbereiding op het uitvoeren van de probleemtaken. De uitvoering van de probleemtaken en de bespreking daarvan komen in § 4.13.3 aan de orde. In § 4.13.4 geven we een overzicht van de uitkomsten van pre- en posttest. In § 4.13.5 maken we enkele kanttekeningen bij de uitvoering van de probleemtaken in de klas en in § 4.13.6 beantwoorden we de onderzoeksvraag over de empirische toetsing aan de hand van de geformuleerde subvragen.

4.13.1 Opzet van de empirische toetsing

In deze paragraaf gaan we in op de opzet van de empirische toetsing.

Onderzoeksgroep

De empirische toetsing vond plaats in een biologiegroep uit 6-vwo, bestaande uit achttien leerlingen, tien meisjes en acht jongens, waaronder één doublant. Het onderwijs in 6-vwo valt nog onder de mammoetwet. Dit betekent dat de leerlingen uit de onderzoeksgroep in het vierde leerjaar nog een vrije vakkenpakketkeuze hadden. Twaalf van hen hadden ook natuurkunde in hun eindexamenpakket, namelijk vijf meisjes en zeven jongens.

Methoden

De onderzoeker verzamelde gegevens over de uitvoering van de probleemtaken door alle betreffende lessen bij te wonen. Hij schonk daarbij met name aandacht aan de wijze waarop docent en leerlingen met het materiaal werkten. Aan de hand van de verzamelde gegevens besprak hij de lessen met de betrokken docent: na afloop van elke les vond een korte en na afloop van de hele lessenserie een uitvoerige bespreking plaats. Vóór de uitvoering van de probleemtaken werd de voorkennis van de leerlingen over de geometrische optica en de oogfunctie in een pretest getoetst. Gegevens over toena-

me van kennis en inzicht bij de leerlingen werden verkregen door vergelijking van de uitkomsten van een posttest met die van de pretest (zie § 4.13.4).

Omstandigheden tijdens het onderzoek

Tijdens de uitvoering van de probleemtaken mocht de normale voortgang van de onderwijsactiviteiten niet worden beïnvloed door onderzoeksactiviteiten. Daarom onthield de onderzoeker zich van inhoudelijke inbreng tijdens de lessen; hij observeerde en beschreef het onderwijsleerproces.

De docent beperkte zich tot het controleren van de door de leerlingen gevonden oplossingen en het zonodig geven van adviezen.

Verder sprak de onderzoeker met de docent af, dat hij hem het verslag van de empirische toetsing ter goedkeuring zou voorleggen (hetgeen ook heeft plaatsgevonden).

4.13.2 Voorbereiding op het uitvoeren van de probleemtaken

In deze paragraaf gaan we in op de voorgeschiedenis van de uitvoering van de probleemtaken.

Instemming van de docent

Ruim voor het begin van de lessenreeks kreeg de docent van de onderzoeker schriftelijke informatie over het leerstofontwerp, namelijk § 4.5 tot en met § 4.10, bijlage 7 tot en met 11, bijlage 14, en het boek 'Praktische oogheelkunde' (Stilma & Voorn, 1993). Nadat de docent zich ervan had vergewist dat inhoud en didactische benadering van het ontwerp voldoende effectief en de uitvoering niet te tijdrovend zouden zijn, besloot hij definitief mee te werken aan de empirische toetsing van de uitgewerkte probleemtaken in het leerstofontwerp.

Afspraken vooraf

De onderzoeker stelde voor om bij de recapitulatie van de geometrische optica enkele experimenten voor de leerlingen in te lassen, waarbij zij lichtbundels zichtbaar konden maken (zie bijlage 10). De docent meende dat dit niet nodig was. Volgens hem zouden de leerlingen zich deze elementaire leerstof ook zonder experimenten goed kunnen eigen maken. Bovendien zou er - naar zijn mening - een te groot beslag worden gelegd op de beschikbare tijd.

Voorts sprak de onderzoeker in eerste instantie met de docent af de voor het hanteren van de probleemtaken ontwikkelde procedure te volgen (zie § 4.9.2, tabel 4.3). Later kwam de docent echter terug op deze afspraak, omdat hij - bij nader inzien - van mening was dat de leerlingen de serie op elkaar voortbouwende problemen zelfstandig zouden moeten kunnen oplossen. Zij waren namelijk gewend aan zelfstandig leren en

het werken in groepen. Hij vond het dan ook niet nodig om na afloop van elk probleem de door de leerlingen gevonden oplossingen te inventariseren en klassikaal te bespreken (zie tabel 4.3, stap 4 en 6). In plaats daarvan wilde hij deze oplossingen tijdens de lessen controleren en aan het einde van de lessenreeks de totale stof ter sprake brengen. Besloten werd de door hem voorgestelde werkwijze te volgen totdat zou blijken dat een leerlingengroep bepaalde problemen niet zonder hulp zou kunnen oplossen, of dat individuele leerlingen het niet eens zouden zijn met de door de groep voorgestelde oplossing.

Tot slot werd afgesproken de leerlingen in groepjes van drie te laten werken.

Aanbrengen van de benodigde voorkennis

Er kon niet worden verwacht dat de leerlingen beschikten over de benodigde voorkennis om de probleemtaken met succes te kunnen uitvoeren. Bouw en functie van het oog waren namelijk al behandeld in klas 2 en de beginselen van de geometrische optica in klas 3. Daarom gaf de docent vooraf een korte recapitulatie van de benodigde voorkennis op het gebied van de elementaire geometrische optica en de bouw en functie van het oog. Hierbij kwamen onderwerpen ter sprake als beeldvorming bij positieve en negatieve lenzen, lensformule en biologische aspecten van accommodatie.

4.13.3 Uitvoering van de probleemtaken en bespreking ervan

In deze paragraaf beschrijven we de wijze waarop de probleemtaken werden uitgevoerd en bespreken we de resultaten van de empirische toetsing.

Uitvoering van de probleemtaken

Vooraf wijzen we erop dat de teksten van de problemen zijn te vinden in § 4.10 en de procedure voor het hanteren van probleemtaken in § 4.9.2 (tabel 4.3). De bij de uitvoering van de probleemtaken gevolgde stappen van deze procedure vermelden we tussen haken in de tekst.

Na een korte introductie door de docent (1) - waarbij onder meer de opbouw van de probleemtaken ter sprake kwam - ontvingen de leerlingen de tekst van het eerste probleem en een werkblad met oogschema's. Dit werkblad bevatte ruim voldoende oogschema's voor de totale lessenserie, zodat de leerlingen geen tijd hoefden te verliezen met het eventueel verbeteren van getekende stralengangen, maar een nieuw oogschema konden invullen.

De leerlingen bedachten individueel één of meer oplossingen voor elk probleem en gaven deze aan in de oogschema's (2). Daarna bespraken zij de gevonden oplossingen in de groep (3). De docent observeerde de leerlingen tijdens hun werkzaamheden en ging na of zij individueel en/of per groep de juiste oplossing hadden gevonden. Wanneer dit het geval was, kreeg de betreffende groep de tekst van het volgende probleem

voorgelegd. De problemen bouwden namelijk op elkaar voort en moesten daarom in de voorgeschreven volgorde worden opgelost en om die reden mocht een groep niet aan een volgend probleem beginnen voordat het vorige goed was opgelost (vergelijk § 4.5.1).

Bespreking van de gang van zaken tijdens de uitvoering

De onderzoeker constateerde tijdens zijn observatie van de lessen en op basis van gesprekken met de betrokken docent, dat deze conform het scenario kon werken met de ontwikkelde leerstof (zie § 4.5.1 en 4.11.1). Zo hoefde de docent weinig sturing te geven aan het leerproces, omdat de leerlingen al gewend waren aan zelfstandig leren en aan het werken in groepen. Hij kon zich dan ook terughoudend opstellen en zich beperken tot het controleren van de vorderingen van de leerlingen en tot het geven van een enkele aanwijzing. Het controleren van de oplossingen aan de hand van de in de oogschema's getekende stralengang kon snel verlopen, omdat er slechts zes groepen van drie leerlingen waren. Het was nauwelijks nodig dat de docent tijdens de les de leerlingen aanwijzingen gaf. Wanneer het oplossen van een probleem stagneerde, was dit gewoonlijk te wijten aan het niet zorgvuldig lezen van de tekst. Het bleek noodzakelijk de leerlingen erop te attenderen dat zij de tijd moesten nemen om eerst het *hele* probleem aandachtig door te lezen en dan pas te beginnen met het zoeken naar oplossingen c.q. het tekenen van stralengangen. Op de teksten van de geformuleerde problemen hadden de leerlingen overigens geen aanmerkingen. Deze waren volgens hen voldoende duidelijk en gaven geen aanleiding tot misverstanden.

Verder moest de docent een aantal leerlingen erop wijzen dat zij de ter beschikking gestelde oogschema's - waar zij dit nodig achtten - mochten wijzigen. De onderzoeker had deze aanwijzing overigens al vóór de empirische toetsing onder de tekst van het eerste probleem geplaatst. Achteraf gezien was het beter geweest de aanwijzing op het blad met oogschema's te plaatsen.

Bij de experimenten met de brillenglazen bleek dat het door de leerlingen correct uitvoeren hiervan aanvankelijk te wensen overliet, zodat een korte interventie van de docent nodig was. Zo hielden de leerlingen bij het kijken naar de leeskaart door een brillenglas, dit glas op willekeurige - meestal te grote - afstanden van het oog. Op de vraag van de docent of de afstand van het glas tot het oog wat uitmaakte bij deze waarnemingen, gingen de leerlingen experimenteren met brillenglazen. Ze ontdekten toen dat een positieve lens 'sterker' en een negatieve 'zwakker' wordt, wanneer deze verder van het oog worden gehouden. Ze zagen in dat het hanteren van een vaste afstand - alsof het glas deel uitmaakt van een bril - van belang is om vergelijkbare waarden te krijgen bij het herhalen van proeven en bij het doen van experimenten met diverse brillenglazen. Ook waren er leerlingen die de brillenglazen aanvankelijk niet loodrecht op de zichtas plaatsten, waardoor vertekening van het beeld optrad.

Al snel bleek dat de leerlingen in staat waren de problemen zelfstandig op te lossen, eventueel na correctie door groepsgenoten tijdens de groepsdiscussie. De groepsgrootte

(drie leerlingen) had als voordeel dat de leerlingen gemakkelijk met elkaar konden overleggen en dat ze gemotiveerd werden ieder een bijdrage te leveren aan de oplossing van een probleem en aan de discussie hierover. De groepen slaagden erin steeds de juiste oplossing te vinden, waardoor de docent in zijn opvatting werd bevestigd, dat het niet nodig was na elk probleem de gevonden oplossingen te inventariseren en samen met de leerlingen te bespreken (tabel 4.3, 4 en 6).

Opvallend was de grote motivatie van de leerlingen. Zij werkten onafgebroken aan de problemen en discussieerden in de groep geanimeerd over mogelijke oplossingen. De experimenten met de brillenglazen bevorderden duidelijk de motivatie van de leerlingen. Het onmiddellijke resultaat en de gemakkelijke reproduceerbaarheid van de experimenten spraken hen zeer aan.

De motivatie van de leerlingen bleek ook uit het stellen van allerlei vragen op oogheelkundig gebied die rechtstreeks of zijdelings met de problemen hadden te maken. In een aantal gevallen kon worden verwezen naar nog op te lossen problemen. In andere gevallen beantwoordde de onderzoeker - die zich zoals gezegd verder alleen bezig hield met het observeren van de lessen - kort de vragen van individuele of groepjes leerlingen, omdat hem bleek dat hun motivatie door vermeerdering van praktische kennis werd gestimuleerd.

Ook de beschikbaarheid van twee leeskaarten voor de experimenten met de brillenglazen, namelijk de traditionele letterkaart en de Landolt-C kaart (zie bijlage 9) bevorderde de motivatie van de leerlingen. Zij vergewisten zich er proefondervindelijk van dat de laatstgenoemde kaart een exacter beeld van de gezichtsscherpte oplevert, onder meer omdat van de traditionele letterkaart gemakkelijk een regel kan worden onthouden. Overigens voldeed de traditionele letterkaart voor ons doel ook goed. Het ging bij de experimenten immers niet om oogheelkundige diagnostiek, maar om het waarnemen van verschillen. De onderzoeker stelde beide kaarten beschikbaar, omdat hem was gebleken dat leerlingen geïnteresseerd zijn in de achtergronden van de constructie van de kaarten. Hij kreeg hierover inderdaad vragen van de leerlingen, die hij kort beantwoordde.

Het uitvoeren van de experimenten met de brillenglazen motiveerde sommige leerlingen ook tot het bedenken van eigen experimenten. Zo bepaalde een leerling die zich zojuist nieuwe contactlenzen (-3 D) had laten aanmeten, zijn gezichtsscherpte. Tot zijn verbazing bleek hij - kijkend door een +0.5 D-brillenglas - de letters van de leeskaart even scherp te zien als zonder deze additie. Deze uitkomst was niet in overeenstemming met zijn ervaring bij het oplossen van probleem A4 en met zijn overtuiging dat de opticien de oogmeting correct had uitgevoerd. Hij kwam zelf op het idee dat hij tijdens zijn experiment toch wel erg dicht bij de leeskaart stond, namelijk op een afstand van één meter. Op vijf meter afstand van de kaart bleek de waarneming weer in overeenstemming met wat hij had ervaren bij het oplossen van probleem A4, namelijk dat er bij toevoeging van een positieve lens minder regels op de kaart scherp kunnen worden gezien. Het bepalen van de eigen gezichtsscherpte is een experiment dat elke leerling - en waarschijnlijk iedereen die daartoe in de gelegenheid is - als eerste uitvoert.

Op de vraag van de docent of de opstelling zich hiertoe leende, wisten enkele leerlingen aan te voeren dat de belichting niet optimaal was - niet was gestandaardiseerd - en dat de kaarten al aardig waren verkleurd. Sommige leerlingen vergeleken hun gezichtsscherpte met die van de leerling met de nieuwe contactlenzen en kregen zodoende een min of meer exacte aanduiding van hun eigen gezichtsscherpte.

Het toestaan van het uitvoeren van eigen experimenten mag uiteraard de goede voortgang van het onderwijs niet verstoren. Het met mate uitvoeren van deze experimenten moet echter mogelijk zijn, omdat dit - zoals bleek - een positief effect heeft op de motivatie van de leerlingen.

Het oordeel van de leerlingen over het onderwijsmateriaal

Tijdens de lessenserie kwam het oordeel van de leerlingen over de aard en de aanpak van de aangeboden leerstof niet expliciet ter sprake. Daarom kregen de leerlingen na het afronden van de probleemtaken tijdens een klassikale bespreking onder leiding van de docent de gelegenheid hun mening over de leerstof kenbaar te maken. De onderzoeker was tijdens dit deel van de bespreking opzettelijk niet aanwezig, zodat de leerlingen vrijuit konden praten en niet werden uitgenodigd tot het geven van sociaal wenselijke antwoorden.

De leerlingen verklaarden dat zij veel waardering hadden voor het probleemgestuurde karakter van de leerstof. Zij vonden dat er een duidelijke lijn zat in de serie problemen. Bovendien gaven zij aan dat zij door de inhoud van de problemen nieuwsgierig werden gehouden. Er was naar de mening van de docent bij de leerlingen dan ook sprake van een intrinsieke motivatie om een volgend probleem op te lossen (vergelijk Schmidt, 1993). Dat de problemen op elkaar voortbouwen, is door de leerlingen goed begrepen. Zo gaven zij aan dat zij het laatst aangeboden probleem (B7) niet hadden kunnen uitwerken, wanneer zij de voorgaande problemen niet met succes hadden opgelost. Zij vonden dit probleem één van de leukste, omdat ze door het uitvoeren hiervan konden laten zien dat ze de stof echt hadden begrepen. We merken op dat de docent het uitvoeren van de problemen tot en met probleem B5 verplicht had gesteld en dat het tiende en elfde probleem - geformuleerd in de keuzeopdrachten B6 en B7 - op vrijwillige basis konden worden opgelost. Uit het feit dat vrijwel alle groepen deze problemen toch uitwerkten, bleek eens te meer hun motivatie. Er was slechts één groep die hier niet aan toe kwam, omdat de leerlingen uit deze groep één à twee lessen wegens ziekte hadden gemist.

De leerlingen werden eveneens aangesproken door de - bij de oogheelkundige beroepspraktijk aansluitende - praktische aspecten van de problemen, waardoor een aanzet werd gegeven tot beroepsoriëntatie.

Vervolgens vroeg de docent naar de ervaringen van de doublant, die in de vorige cursus dezelfde stof op een traditionele manier had aangeboden gekregen. Deze verklaarde dat wat hij in de vorige cursus over het oog had geleerd 'helemaal was wegge-zakt', maar dat dit na deze nieuwe benadering niet meer zou voorkomen. 'Wanneer ik

aan een bepaald probleem denk, dan zie ik mezelf weer bezig met de brillenglazen en dan komt alles weer boven.' Deze uitspraak ondervond brede steun van de andere leerlingen: 'Dit vergeten we niet meer!'

Tot slot vroeg de docent de leerlingen of zij negatieve aspecten van de aangeboden leerstof konden noemen, bijvoorbeeld ten aanzien van formulering, inhoud, moeilijkheidsgraad en sequentie van de problemen binnen de probleemtaken. Dit was niet het geval. De leerlingen hadden ook geen suggesties voor aanvulling of verbetering van de problemen. Zij waren geheel tevreden met de aard en de aanpak van de leerstof. Op de vraag van de docent of zij de indruk hadden dat zij zich met behulp van de probleemtaken de stof over de oogfunctie goed hadden kunnen eigen maken, was het antwoord: 'Dat is een stomme vraag', dat was immers al duidelijk gebleken en niet meer aan twijfel onderhevig.

De klassikale bespreking

In de klassikale bespreking stelde de docent eerst de pre- en posttest aan de orde. De leerlingen gaven aan dat de herhaling van de leerstof over de geometrische optica en over het oog hen daarbij tot steun was geweest, omdat zij opnieuw kennis hadden gemaakt met een aantal basisconcepten.

Toen de docent de vragen van de posttest en de daarop gegeven antwoorden de revue liet passeren, werd hij - naar zijn zeggen - nogal eens onderbroken door uitroepen van de leerlingen in de trant van 'Oh, wat stom dat we dat niet hebben gezien'. Daarnaast vonden leerlingen dat meer kennis tot meer onzekerheid leidde. Ze hadden soms achter de vragen meer gezocht dan de bedoeling was. Dit verklaart wellicht ook het feit dat de onderzoeker constateerde dat enkele leerlingen een bepaalde vraag tijdens de pretest goed beantwoordden en bij de posttest niet.

In het tweede deel van de klassikale bespreking nam de docent - in aanwezigheid van de onderzoeker - de verschillende problemen met de leerlingen door en gaf waar nodig nadere uitleg.

Parallelgroep

Een deel van de probleemtaken is ook uitgevoerd in een parallelgroep biologie uit 6-vwo. Deze groep omvatte dertien leerlingen, twaalf meisjes, waaronder één doublant en één jongen. Vijf meisjes en de genoemde jongen hadden ook natuurkunde als eind-examenvak. De leerlingen uit deze groep kregen de tijd om zes tot zeven problemen uit te werken. Het was niet mogelijk dat de onderzoeker de lessen van deze groep bijwoonde.

Tijdens een bespreking van de onderzoeker met de docente van de parallelgroep gaf deze aan dat zij eveneens conform het scenario kon werken met de probleemtaken en dat de leerlingen enthousiast en met succes bezig waren geweest met het oplossen van de problemen. Ook deze leerlingen werden vooral gemotiveerd door problemen waar-

bij waarnemingen met brillenglazen moesten worden gedaan. In deze groep sprak het onmiddellijke resultaat van deze waarnemingen en de mogelijkheid om deze op elk gewenst moment te herhalen, de leerlingen eveneens zeer aan. Vooral de problemen waarbij de leerlingen moesten experimenteren, lokten in de groepen uitvoerige discussies uit over mogelijke oplossingen.

Een duidelijke aanwijzing voor de gemotiveerdheid van de leerlingen was, dat zij - in het kader van beroepsoriëntatie - voorstelden om een excursie naar een opticien-oogmeetkundige te organiseren. Zij wilden dan kennis maken met de diagnostische mogelijkheden op oogheelkundig gebied en zo mogelijk een oogtest laten doen. De docente stemde hiermee in en trof voorbereidingen voor het organiseren van die excursie. Het is de onderzoeker niet bekend op welke wijze de docente de stof uit de niet uitgevoerde problemen heeft aangebracht.

4.13.4 Pre- en posttest

Vóór de uitvoering van de probleemtaken zijn kennis en inzicht van de leerlingen ten aanzien van de geometrische optica en de oogfunctie getoetst met behulp van een pretest (bijlage 15), die hen na afloop van de probleemtaken opnieuw is voorgelegd als posttest. Het doel van de posttest was na te gaan of er sprake was van toename van kennis en inzicht bij de leerlingen. In deze paragraaf geven we een overzicht van de opzet en de uitkomsten van deze toetsen.

Opzet van de toetsen

Pretest

Na recapitulatie van de elementaire geometrische optica en van de bouw en functie van het oog, legde de docent de leerlingen een aantal vragen voor om hun beginsituatie in kaart te brengen. De vragen voor deze pretest werden opgesteld door de onderzoeker en besproken in het zogenoemde trio-overleg (zie § 3.2).

De vragenlijst (bijlage 15) is opgebouwd uit twee delen. De vragen 1-3 betreffen de elementaire geometrische optica en de vragen 4-10 de oogfunctie. Bij het samenstellen van de vragen is rekening gehouden met bij leerlingen geconstateerde misconcepties over 'het oog' (zie § 4.6 en § 4.8).

Om informatie te verkrijgen over het oordeel van leerlingen over inhoud, formulering en moeilijkheidsgraad van de vragen, legde de onderzoeker de vragenlijst voor aan acht biologieleerlingen uit 6-vwo van het Comenius College in Hilversum. Uit de nabespreking van de onderzoeker met deze leerlingen bleek dat zij zeer geïnteresseerd waren in het onderwerp. Zij discussieerden namelijk uitvoerig over de vragen en de daarop gegeven antwoorden. Naar aanleiding van deze bespreking formuleerde de onderzoeker enkele vragen duidelijker. Om het inzicht van de leerlingen in de onderhavige materie beter te kunnen toetsen, scherpste hij bovendien de formulering van een paar

vragen aan en verving hij enkele té eenvoudige vragen. Na definitieve vaststelling van de vragenlijst in het trio-overleg, werd de lijst voorgelegd aan de betreffende docent van de KSG De Breul. Deze zag geen aanleiding om wijzigingen voor te stellen, omdat hij van mening was dat de antwoorden van de leerlingen op de vragen een goed beeld zouden kunnen opleveren van hun voorkennis.

Posttest

Nadat de leerlingen de probleemtaken hadden uitgevoerd, heeft de docent hen een posttest voorgelegd. Deze toets werd afgenomen vóór de klassikale bespreking van de antwoorden op de problemen. De toets was namelijk bedoeld om na te gaan of er als gevolg van het uitvoeren van de probleemtaken bij de leerlingen sprake was van toename van kennis en inzicht. In het trio-overleg en het overleg met de docent was daarom besloten voor deze toets dezelfde vragen en normering te gebruiken als voor de pretest (bijlage 15).

Resultaten en bespreking

In het navolgende geven we de uitkomsten van pre- en posttest en bespreken deze. Bij de beoordeling van de resultaten van deze toetsen is de volgende normering gebruikt. Wanneer een leerling het goede antwoord - in dit voorbeeld 'juist' - gaf en dit bovendien zeker wist door in de betreffende kolommen 'juist' en 'zeker' aan te kruisen, dan leverde dat 4 punten op. De andere mogelijkheden waren 'juist' - 'niet zeker': 3 punten; 'niet juist' - 'niet zeker': 1 punt en 'niet juist' - 'zeker': 0 punten.

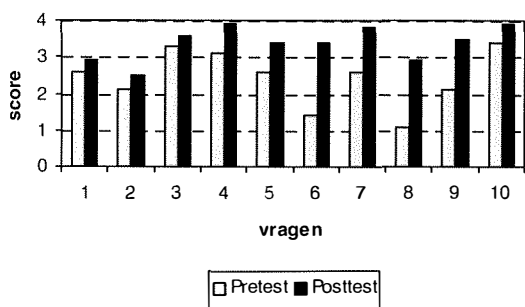
Resultaten

De hieronder beschreven resultaten hebben uitsluitend betrekking op de door de onderzoeker geobserveerde leerlingengroep. We merken op dat twee leerlingen - wegens ziekte - niet konden deelnemen aan de posttest. Daarom hebben we hun scores ook bij de pretest buiten beschouwing gelaten.

Uit de analyse van de individuele scores van de leerlingen bij pre- en posttest bleek dat bij nogal wat vragen de scores van leerlingen die naast biologie ook natuurkunde in hun examenpakket hadden, (duidelijk) afweken van die van leerlingen die dit vak niet in hun pakket hadden. Daarom hebben we naast de gemiddelde scores per vraag van de hele groep (figuur 4.1) ook de scores weergegeven van de aangeduide deelpopulaties (figuur 4.2 en 4.3).

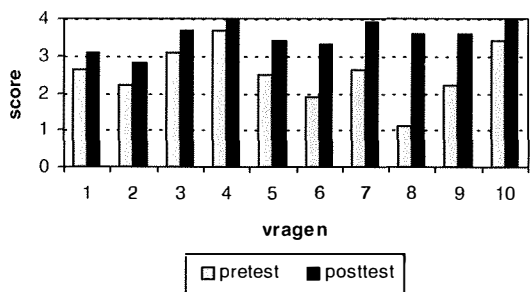
De grafische gegevens uit de figuren 4.1 - 4.3 zijn voor pre- en posttest per vraag aangevuld met de gemiddelde scores en de standaarddeviaties.

In tabel 4.7 geven we per vraagengroep een overzicht van de resultaten van pre- en posttest voor de onderscheiden categorieën leerlingen.



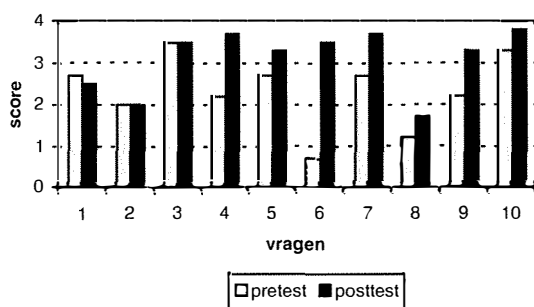
Figuur 4.1: Gemiddelde scores per vraag uit pre- en posttest van alle leerlingen (N = 16).

Vragen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Score pretest	2.6	2.1	3.3	3.1	2.6	1.4	2.6	1.1	2.1	3.4
Score posttest	2.9	2.5	3.6	3.9	3.4	3.4	3.8	2.9	3.5	3.9
SD pretest	1.5	1.4	1.0	1.1	1.2	1.2	1.0	1.0	1.3	0.8
SD posttest	1.4	1.4	0.5	0.3	0.8	0.8	0.4	1.5	0.5	0.3



Figuur 4.2: Gemiddelde scores per vraag uit pre- en posttest van de leerlingen met natuurkunde als eindexamenvak (N = 10).

Vragen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Score pretest	2.6	2.2	3.1	3.7	2.5	1.9	2.6	1.1	2.2	3.4
Score posttest	3.1	2.8	3.7	4.0	3.4	3.3	3.9	3.6	3.6	4.0
SD pretest	1.4	1.3	1.2	0.5	1.4	1.2	1.2	1.1	1.3	1.0
SD posttest	1.4	1.3	0.5	0	1.0	0.9	0.3	1.0	0.5	0



Figuur 4.3: Gemiddelde scores per vraag uit pre- en posttest van leerlingen zonder natuurkunde als eindexamenvak (N = 6).

Vragen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Score pretest	2.7	2.0	3.5	2.2	2.7	0.7	2.7	1.2	2.2	3.3
Score posttest	2.5	2.0	3.5	3.7	3.3	3.5	3.7	1.7	3.3	3.8
SD pretest	1.8	1.5	0.5	1.3	0.8	0.5	0.8	1.0	1.3	1.3
SD posttest	1.2	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	0.4

Tabel 4.7: Overzicht van de gemiddelde scores en standaarddeviaties per vragengroep uit pre- en posttest voor de onderscheiden categorieën leerlingen.

	Pretest	Posttest
Vragen		
1-10		
Alle leerlingen (16)	2.4 (0.4)	3.4 (0.3)
Leerl. met natuurkunde (10)	2.5 (0.4)	3.5 (0.3)
Leerl. zonder natuurkunde (6)	2.3 (0.4)	3.1 (0.3)
1-3		
Alle leerlingen	2.7 (0.8)	3.0 (0.7)
Leerl. met natuurkunde	2.6 (0.8)	3.2 (0.6)
Leerl. zonder natuurkunde	2.7 (0.8)	2.7 (0.7)
4-10		
Alle leerlingen	2.3 (0.4)	3.5 (0.3)
Leerl. met natuurkunde	2.5 (0.4)	3.7 (0.2)
Leerl. zonder natuurkunde	2.1 (0.4)	3.3 (0.3)

Bespreking

We bespreken eerst de hierboven weergegeven resultaten van de door de onderzoeker geobserveerde leerlingengroep. Daarna besteden we enige aandacht aan de resultaten

van de leerlingen uit de parallelgroep biologie die een deel van de problemen oplossen.

Vooraf geven we een overzicht van de vragen van pre- en posttest zoals vermeld in bijlage 15. Zoals eerder aangegeven, betreffen de vragen 1-3 de elementaire geometrische optica.

- 1 Vissen hebben een niet vervormbare, bolronde ooglenzen. Om op verschillende afstanden scherp te kunnen zien, kan de ooglenzen worden verplaatst. De vis kijkt in de verte.
Stelling: Om vervolgens een voorwerp van dichtbij scherp te kunnen zien, moet de ooglenzen van de vis van het netvlies af worden verplaatst.
- 2 Hoe sterker een lens vergroot, des te verder moet je deze lens van een voorwerp houden om dit scherp te kunnen zien.
- 3 We zien een voorwerp omdat van elk punt van dat voorwerp een divergente lichtbundel in ons oog valt, die vervolgens convergeert tot één punt op ons netvlies.

De vragen 4-10 hebben betrekking op leerstof uit de problemen binnen de probleemtaken.

- 4 Bij alle leerlingen die in de verte zonder bril goed kunnen zien, is de afstand van de ooglenzen tot aan het netvlies gelijk.
- 5 Een leerling die zonder bril op korte afstand wel scherp kan zien maar in de verte niet, is bijziend. Bij het ouder worden, wordt de ooglenzen minder elastisch en kan daardoor minder gemakkelijk van vorm veranderen.
Stelling: Een bijziende leerling is van mening dat hij op latere leeftijd ook in de verte zonder bril scherp kan zien.
- 6 Een te grote afstand tussen de ooglenzen en het netvlies heeft bijziendheid tot gevolg.
- 7 Iemand die bijziend is, kan in de verte scherp zien door een negatieve lens van de juiste sterkte voor zijn oog te houden.
- 8 Als een leerling die zonder bril een voorwerp in de verte scherp kan zien, een zwakke negatieve lens voor zijn oog houdt, dan wordt het beeld van dit voorwerp onscherp.
- 9 Op een scherm wordt van een voorwerp een scherp beeld gevormd. Als we dit scherm een klein stukje in de richting van het voorwerp verplaatsen, wordt het beeld wazig.
Bij sommige leerlingen is de afstand tussen ooglenzen en netvlies iets te klein.
Stelling: Zonder bril kunnen deze leerlingen in de verte toch scherp zien.
- 10 Het dichtst bij het oog gelegen punt dat je nog scherp kunt zien, heet het nabijheidspunt.
Stelling: Voor elke individuele leerling geldt dat tijdens zijn leven het nabijheidspunt op dezelfde plaats blijft.

Bij de vragen over de geometrische optica (figuur 4.1, vraag 1-3) waren bij de pretest de gemiddelde scores van de leerlingen op de eerste twee vragen nauwelijks voldoende. Vraag 2 - de vraag met de laagste score - was wel op suggestieve wijze 'fout' geformuleerd, maar de leerlingen hadden deze vraag - evenals vraag 1 - wel goed moeten kunnen beantwoorden. De pretest vond immers plaats na het aanbrengen van de voorkennis. De stelling in vraag 3 was eveneens op suggestieve wijze, maar nu 'goed' geformuleerd en was - wellicht daardoor - voor de meeste leerlingen wel aannemelijk. De gemiddelde scores bij deze vragengroep waren voor de leerlingen met en de leerlingen zonder natuurkunde als examenvak vrijwel gelijk.

De vragen over de geometrische optica kwamen bij het oplossen van de problemen in de probleemtaken niet expliciet ter sprake. De resultaten van deze vragen bij de posttest gaven aan dat het uitwerken van de probleemtaken bij de leerlingen toch heeft geleid tot (enige) toename van kennis en inzicht, maar - zeker voor de eerste twee vragen - niet in voldoende mate. Bovendien was deze toename van kennis en inzicht uitslui-

tend het gevolg van de scores van de leerlingen die natuurkunde in hun pakket hadden (figuur 4.2). Bij de leerlingen zonder natuurkunde was er helemaal geen sprake van toename van kennis en inzicht (figuur 4.3). We merken op dat het probleem uit vraag 1 over accommodatie bij vissen deel uitmaakt van de verrijkingsstof bij probleemtaak B (§ 4.10), maar in de lessenreeks niet aan de orde is geweest.

De scores op de vragen die betrekking hadden op de probleemtaken (figuur 4.1, vraag 4-10) waren bij de pretest - met uitzondering van de vragen 6 en 8 - niet lager dan voor de vragen over de geometrische optica, hoewel hier (dus) geen voorkennis was aangebracht. Bij vraag 6 hadden de leerlingen wel moeten weten dat om een scherp beeld te krijgen het voorwerp naar de lens toe moest worden verplaatst. De minder goede resultaten bij vraag 8 waren kennelijk te wijten aan onvoldoende inzicht in de accommodatie van de ooglenzen en in de beeldvorming met behulp van een negatieve lens. Vraag 8 was trouwens complexer dan vraag 6. We komen daarop terug bij de bespreking van de resultaten van de posttest.

De resultaten van de posttest bij de vragen die betrekking hadden op de probleemtaken (figuur 4.1, vraag 4-10) waren goed en gaven een gelijkmatig beeld. Bovendien waren de standaarddeviaties - vergeleken met die bij de pretest - duidelijk afgenomen. De gemiddelde score op vraag 8 was wel wat lager, maar toch ruim voldoende.

De vragen 4, 5 en 8 hadden betrekking op bij leerlingen geconstateerde misconcepties (zie § 4.6 en § 4.8). Uit de resultaten bij de pretest (figuur 4.1) bleek dat deze misconcepties ook bestonden bij enige leerlingen die deelnamen aan de empirische toetsing.

Vraag 4 gaat over het oog als biologisch systeem. In de leerboeken wordt het oog nogal eens vergeleken met een camera. Dat er bij het oog niet zozeer sprake is van vaste waarden - zoals bij optische instrumenten - maar dat scherp zien een kwestie is van onderlinge afstemming van structuren, is het beste begrepen door de leerlingen die ook natuurkunde in hun pakket hebben. Hun gemiddelde score op deze vraag was duidelijk hoger dan die van leerlingen zonder natuurkunde als examenvak (figuur 4.2 en 4.3).

Vraag 5 heeft eveneens betrekking op een bekende misconceptie. Vrij veel leerlingen realiseerden zich niet dat de ligging van het vertepunt tijdens het leven constant blijft. Bij vraag 8 was de gemiddelde score zeer laag. Leerlingen meenden dat accommodatie alleen optreedt bij dichtbijzien, zoals bij lezen. Dat accommodatie in sommige gevallen op elke afstand optreedt als reactie op een onscherp netvliesbeeld was hen niet duidelijk. Wanneer het om echte verziendheid gaat zoals in vraag 9, dan waren er wat meer leerlingen die het goede antwoord wisten.

Vraag 8 was - door het toepassen van een extra lens waardoor pseudo-verziendheid ontstaat, die onmiddellijk wordt gecompenseerd door accommodatie - voor leerlingen gecompliceerder dan vraag 9.

Uit de scores bij de posttest op de vragen 4, 5 en 8 (figuur 4.1) bleek dat de bovengenoemde misconcepties bij de meeste leerlingen waren opgeheven. Bij vraag 8 gold dit echter niet voor de leerlingen zonder natuurkunde in hun pakket (figuur 4.3). Deze vraag deed kennelijk een groter beroep op het inzicht van de leerlingen in de fysische

aspecten van het zien.

Opvallend bij de pretest was dat de leerlingen bij vraag 7 veel hoger scoorden dan bij vraag 6. Dit gold vooral voor de leerlingen zonder natuurkunde in hun pakket. Het merendeel van de leerlingen koos bij vraag 7 wel de juiste bril, maar legde daarbij geen verband met de oogaslengte uit vraag 6. Ze zagen kennelijk geen reden om na het beantwoorden van vraag 7, hun antwoord op vraag 6 te verbeteren. Bij de posttest waren de resultaten van beide vragen goed. Verder merken we op dat de gemiddelde score bij de vragen die betrekking hadden op leerstof uit de probleemtaken (tabel 4.7, vraag 4-10) - zowel bij de pretest als bij de posttest - voor de leerlingen met natuurkunde als examenvak wat hoger was dan voor de leerlingen zonder dit vak in hun pakket. De toename van kennis en inzicht was voor beide groepen gelijk.

Uit het overzicht van de gemiddelde scores per vragengroep (tabel 4.7) blijkt dat de leerlingen met natuurkunde in hun pakket bij de posttest voor alle vragengroepen het hoogst scoorden. Hun gemiddelde score bij de pretest was overigens ook voor twee van de drie vragengroepen hoger dan bij leerlingen zonder natuurkunde als examenvak.

Een verklaring hiervoor kan zijn dat de vragen nogal wat fysische aspecten bevatten. Daarnaast kiezen in de regel alleen goede leerlingen op het gebied van de natuurwetenschappen ook natuurkunde in hun examenpakket.

Gezien de landelijke trend is te verwachten dat de beste leerlingen op het gebied van de natuurwetenschappen in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs zullen kiezen voor het profiel 'Natuur en Techniek', een profiel zonder biologie. Daar staat tegenover dat leerlingen in het profiel 'Natuur en Gezondheid' naast biologie ook natuur- en scheikunde als verplichte vakken hebben. Voor deze leerlingen moet het dan ook goed mogelijk zijn om de problemen binnen de probleemtaken over het oog op te lossen. We moeten ons daarbij wel realiseren dat de inhoud van de vakken natuur- en scheikunde binnen het profiel 'Natuur en Gezondheid' niet is te vergelijken met de veel uitgebreidere eindexamenvakken natuur- en scheikunde ten tijde van de mammoetwet. In dit profiel gaat het om de zogenoemde deelvakken natuur- en scheikunde. Overigens is het niet kiezen voor het profiel 'Natuur en Gezondheid' door uitstekende leerlingen op het gebied van de natuurwetenschappen een nadeel, omdat dergelijke leerlingen vaak een stimulerende invloed op hun klasgenoten hebben.

We merken op dat de empirische toetsing beperkt van omvang was, omdat de in probleemtaken uitgewerkte leerstof slechts een deel van de totale leerstof over het oog betrof. Bovendien betrof het een relatief kleine groep leerlingen. Bij de formulering van de problemen in deze probleemtaken was echter wel rekening gehouden met bij leerlingen geconstateerde misconcepties ten aanzien van de oogfunctie, zodat met behulp van de toetsen kon worden nagegaan of het oplossen van deze problemen bij de leerlingen zou leiden tot het verminderen of opheffen van deze misconcepties. Verder is de empirische toetsing uitgevoerd onder gunstiger omstandigheden dan gewoonlijk het geval is. Door de beperkte omvang van de onderzoeksgroep kon er worden gewerkt met groepjes van drie leerlingen. Dergelijke kleine groepjes bieden de leerlingen uitstekende kansen om samen te werken bij het oplossen van de problemen

en het onderling vergelijken van de resultaten. Daarnaast waren de leerlingen gewend aan groepswork en aan zelfstandig werken. Verder was de betrokken docent zeer ervaren en goed gemotiveerd en had hij duidelijk belangstelling voor 'het oog' en 'het zien'. Hij wist tijdens de lessen een uitstekende sfeer te creëren en had daarbij voldoende overwicht op de leerlingen.

Samenvattend concluderen we dat er bij de leerlingen sprake was van een duidelijke toename van kennis en inzicht op het gebied van de leerstof uit de problemen in de probleemtaken (vraag 4-10). Deze toename leidde ook tot (enige) toename van kennis en inzicht voor wat betreft de vragen die bij het oplossen van de probleemtaken niet expliciet ter sprake kwamen (vraag 1-3).

De gemiddelde scores van de leerlingen die naast biologie ook natuurkunde in hun pakket hadden, waren bij de posttest in het algemeen voor alle vragengroepen (wat hoger dan voor leerlingen zonder natuurkunde (tabel 4.7). Bij de pretest gold dit niet voor de vragen over de geometrische optica (tabel 4.7, vraag 1-3).

In het volgende gedeelte besteden we nog enige aandacht aan de resultaten van de parallelgroep biologie. Hierna noemen we de eerder beschreven groep 'groep-1' en de parallelgroep 'groep-2'. Naar de mening van de betrokken docenten waren de beide leerlingengroepen-biologie vrijwel gelijkwaardig. Zo ontliepen de gemiddelde rapportcijfers voor biologie op het overgangsrapport van 5- naar 6-vwo elkaar weinig.

Ook in groep-2 werd de pre- en posttest voorgelegd. De uitgangssituatie was voor deze groep echter een andere dan voor groep-1. In de eerste plaats was er een duidelijk verschil in de aangebrachte voorkennis. In groep-2 werd hieraan namelijk geen klassikale les besteed, maar moesten de leerlingen alleen de beginselen van de geometrische optica zelfstandig bestuderen aan de hand van kopieën uit het natuurkundeboek. Verder losten deze leerlingen - zoals we al aangaven in § 4.13.2 - slechts de eerste zes à zeven van de elf problemen op.

Vanwege de afwijkende uitgangssituatie zien we bij de bespreking van de resultaten van groep-2 af van het vergelijken van de bij de pre- en posttest behaalde resultaten per vraag met die van groep-1. De posttest was dezelfde als voor groep-1 en niet speciaal toegesneden op de leerstof van slechts het eerste deel van de problemen. Toch kunnen we uit de resultaten van beide groepen wel enkele conclusies trekken.

Het algemene beeld van de resultaten van de leerlingen uit groep-2 kwam bij de pretest in grote trekken overeen met dat van groep-1. De gemiddelde scores van beide groepen waren bij de pretest - zowel voor het totaal van de vragen (vraag 1-10) als voor de vragen die betrekking hadden op de probleemtaken (vraag 4-10) - gelijk. Hetzelfde gold voor de resultaten van de deelpopulaties.

Bij de vragen over de geometrische optica (vraag 1-3) scoorden zowel de totale populatie als de deelpopulaties van groep-2 ongeveer 0.4 punt lager dan de leerlingen uit groep-1. Een voor de hand liggende verklaring voor deze lagere score, is de andersoortige wijze van aanbrengen van de voorkennis.

Bij de resultaten van de posttest zien we bij groep-2 eveneens een beeld dat overeenkomt met dat van groep-1. De resultaten van de leerlingen uit groep-2 waren ook het best bij de vragengroep 4-10. Ook hier kunnen we een uitstralende werking constateren op de resultaten van de vragen over de geometrische optica (vraag 1-3). Bij de posttest waren overigens de resultaten bij de onderscheiden vragengroepen in groep-2 over de hele linie lager dan die van groep-1 waarin alle problemen werden opgelost. We illustreren dit aan de volgende gemiddelde waarden: vragengroep 1-10: 2.9 en 3.4; vragengroep 1-3: 2.5 en 3.0; vragengroep 4-10: 3.0 en 3.5.

De resultaten van de leerlingen met natuurkunde in hun vakkenpakket waren voor alle drie de vragengroepen wat beter dan voor de leerlingen zonder natuurkunde. Zo waren de gemiddelde scores van deze deelpopulaties voor de vragengroepen 1-10, 1-3, en 4-10 respectievelijk 3.0 en 2.8, 2.8 en 2.3, en 3.1 en 2.9. Evenals bij groep-1 is de hogere score bij de vragengroep over de geometrische optica (vraag 1-3) van de posttest vergeleken met die van de pretest geheel te danken aan de toename van kennis en inzicht bij de leerlingen met natuurkunde in hun pakket.

Overigens waren niet alleen de gemiddelde scores per vragengroep bij de posttest in groep-2 lager dan die in groep-1, maar ook de toename van kennis en inzicht bij de leerlingen was - behalve bij vragengroep 1-3 - veel geringer. De gemiddelde toename van kennis en inzicht van groep-2 en groep-1 was namelijk bij de vragengroepen 1-10, 1-3, en 4-10 respectievelijk 0.5 en 1.0, 0.2 en 0.3, en 0.6 en 1.2.

Het is aannemelijk dat de lagere resultaten van groep-2 bij de posttest het gevolg zijn van een beperktere voorkennis en van de omstandigheid dat slechts zes à zeven problemen werden opgelost. Dit in tegenstelling tot groep-1 waarin alle negen problemen werden uitgewerkt en bovendien de twee - complexe - keuzeproblemen bij de probleemtaak B 'Accommodatie'.

Tot slot merken we op dat de leerlingen uit de groep-2 de vragen 5 en 9 bij de posttest niet beter wisten te beantwoorden dan bij de pretest het geval was. Vraag 5 heeft betrekking op een bekende misconceptie, namelijk dat een bijziende op latere leeftijd ook in de verte zonder bril scherp kan zien. Het verband tussen functieafwijkingen en het verouderende oog komt echter niet eerder dan vanaf het negende probleem ter sprake. Vraag 9 betreft verziendheid, waarover pas in het achtste probleem wordt gesproken.

Bij de leerlingen uit groep-1 - die alle problemen oplosten - vonden we bij deze vragen in de posttest een flinke stijging, terwijl de scores van de pretest weinig afweken van die van de leerlingen uit groep-2. Het oplossen van de meer complexe problemen heeft dus duidelijk invloed gehad op de resultaten bij deze vragen. Dit hield bijvoorbeeld voor vraag 5 in dat bij een groot deel van de leerlingen uit groep-1 de bestaande misconceptie is opgeheven.

4.13.5 Kanttekeningen bij de uitvoering van de probleemtaken in de klas

In deze paragraaf besteden we aandacht aan een aantal algemene aspecten van de uit-

voering van de probleemtaken.

Voorkennis

Na de recapitulatie van de beginselen van de geometrische optica en van de bouw en functie van het oog, had de docent de indruk dat de leerlingen deze leerstof goed hadden begrepen. Uit de resultaten van de pretest - afgenomen na voornoemde recapitulatie van de voorkennis - bleek dat dit bij een belangrijk deel van de leerlingen nog niet het geval was. We zijn van mening dat een juiste voorkennis noodzakelijk is voor het met succes oplossen van de probleemtaken. Daarom gaan we hier in op de vragen van de pretest die betrekking hebben op de voorkennis die nodig is voor het uitvoeren van de probleemtaken, maar die daarin zelf niet meer expliciet aan de orde komen. Ter sprake komen de aard van de vragen, de daarbij door de leerlingen behaalde resultaten en het effect van het werken aan de probleemtaken, tot uiting komend in de resultaten bij dezelfde vragen in de posttest.

De eerste drie vragen van de pretest hebben betrekking op de geometrische optica. De uitkomsten bij deze vragen wezen erop dat de recapitulatie onvoldoende was geweest. Bij de posttest waren de resultaten van de leerlingen met natuurkunde in hun pakket wel verbeterd, maar voor de vragen 1 en 2 was de verbetering slechts matig. De resultaten van de leerlingen zonder natuurkunde in hun pakket waren teleurstellend. Hier was geen sprake van verbetering. Dit gegeven is eens te meer een reden om zorgvuldig aandacht te besteden aan het aanbrengen van de benodigde voorkennis. De docente van de parallelgroep biologie wil eveneens meer aandacht besteden aan de recapitulatie van de stof over de geometrische optica. Ook zij vond dat de voorkennis van de leerlingen bij het oplossen van de problemen op dit gebied tekort schoot.

We bevelen aan om bij de recapitulatie van de elementaire geometrische optica voor de leerlingen - in overeenstemming met het oorspronkelijke voornemen - een aantal experimenten in te lassen. Zoals we eerder aangaven, zijn daarvoor experimenten geschikt waarbij lichtbundels zichtbaar worden gemaakt met behulp van een fluoresceïne-oplossing (bijlage 10).

Verder is het - naar onze mening - noodzakelijk dat de leerlingen vooraf beschikken over correcte kennis van 'het zichtconcept' (Bouwens, 1989; vergelijk bijlage 10). Dit impliceert dat in de toekomst bij de recapitulatie niet alleen kennis moet worden aangebracht over de geometrische optica en de biologische aspecten van de accommodatie, maar ook over het zichtconcept.

Uitvoering van de probleemtaken

Onvoldoende inzicht van de leerlingen in de geometrische optica leidde ertoe dat de scores op enkele vragen over de oogfunctie bij de posttest niet bevredigend waren. Tijdens de lessen constateerde de onderzoeker al dat de voorkennis van de leerlingen op het gebied van de geometrische optica voor het oplossen van problemen over de oog-

functie in een aantal gevallen niet toereikend was. Daarnaast steunden sommige leerlingen sterk op groepsgegoten bij het vinden van een oplossing voor de problemen. Bij de observatie van de lessen merkte de onderzoeker namelijk op, dat in enkele groepen soms één leerling het voortouw nam en - voordat de andere leerlingen uit de groep het probleem geheel individueel hadden opgelost - zijn (goede) oplossing ging uitleggen. Het gevaar bestaat dan dat groepsgegoten deze oplossing zonder verdere discussie overnemen, zonder die geheel te begripen. De docent had eveneens opgemerkt dat enkele leerlingen wel eens een oplossing van een probleem zonder meer van groepsgegoten hadden overgenomen, zonder deze echt te hebben begrepen. De docent trad dan wel corrigerend op, maar dit euvel is nu eenmaal inherent aan groepswork.

Tot slot is naar de mening van de onderzoeker het inzicht van leerlingen in optische problemen ook gebaat met de mogelijkheid om te experimenteren met 'zichtbare' lichtbundels. Zoals in bijlage 10 is aangegeven, zijn met dergelijke experimenten allerlei situaties te simuleren, waaronder functieafwijkingen van het oog. Onderzoeker en docent hebben deze mogelijkheid tijdens hun voorbespreking wel overwogen, maar vanwege de beschikbare tijd is hiervan afgezien.

Posttest

Uit het oogpunt van vergelijkbaarheid werd gekozen voor een posttest met dezelfde vragen en normering als in de pretest. Hierdoor was het mogelijk een beeld te krijgen van de toename van kennis en inzicht bij de leerlingen. De vragen vier tot en met tien hadden betrekking op de essentie van de leerstof uit de probleemtaken. Daar was besloten de leerlingen bij de pretest dezelfde vragen voor te leggen - vragen die door hen zonder gerichte voorbereiding moesten zijn te beantwoorden - moesten deze basaal van aard zijn. Om de kennis en het inzicht van de leerlingen over deze stof - met name uit de meer complexe problemen - te toetsen, zouden hen hierover per probleem gerichte vragen moeten worden voorgelegd. Bij de empirische toetsing van de probleemtaken was daar echter geen mogelijkheid voor en verkreeg de onderzoeker aanvullende informatie uit zijn observaties van de lessen, uit de informatie van de docent en uit de klassikale evaluatie na het uitwerken van de probleemtaken.

Procedure voor het hanteren van de probleemtaken

Zoals eerder aangegeven is de procedure voor het hanteren van de probleemtaken op verzoek van de betrokken docent enigszins aangepast. Hij controleerde namelijk tijdens de lessen de door de leerlingen bij elk probleem gevonden oplossingen, in plaats van deze te inventariseren en klassikaal te bespreken. Dit betekende dat één van de stappen uit de procedure - voornamelijk op pragmatische gronden - slechts ten dele is gevolgd. Door deze werkwijze hoefden leerlingengroepen die een bepaald probleem hadden opgelost niet te wachten tot de andere groepen zover waren. Ook uit het oogpunt van het onderzoek was het afwijken van de procedure niet nadelig, omdat nu bij

de resultaten van de leerlingen de invloed van de docent een minder grote rol zou spelen. Na de klassikale bespreking van de probleemtaken was de docent echter van mening dat discussie tussen (leden uit) de verschillende groepen een waardevolle bijdrage levert aan het inzicht van de leerlingen in de oogfunctie. Uit het gegeven dat enkele leerlingen wel eens een oplossing van een probleem overnamen van hun groepsgenoten en dat sommige resultaten uit de posttest te wensen overlieten, was ook al gebleken dat de gekozen procedure niet vlekkeloos verliep. Daarom wil de docent bij het aanbieden van de probleemtaken in de volgende cursus naar bevind van zaken handelen, maar in elk geval na afloop van *elke probleemtaak* een klassikale bespreking houden.

4.13.6 Beantwoording van de onderzoeksvraag met betrekking tot de empirische toetsing

In deze paragraaf beantwoorden we de subvragen die we in de inleiding van § 4.13 formuleerden bij deelonderzoeksvraag: *‘Wat waren de uitkomsten van een toetsing van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp onder normale schoolomstandigheden?’* Tot slot gaan we na in hoeverre de didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp zijn gerealiseerd en gaan we in op de aard van het praktijkonderzoek.

- *Kan de docent conform het scenario met de ontwikkelde leerstof werken?*

De onderzoeker constateerde tijdens zijn observatie van de lessen dat de docent conform het scenario kon werken met de voorbeeldmatig uitgewerkte probleemtaken. In een gesprek met hem bevestigde de docent dit. Doordat de leerlingen de problemen gemotiveerd en met succes oplosten, kon de docent zich beperken tot het controleren van de door de leerlingen gevonden oplossingen en het zo nu en dan geven van adviezen. Verder zag hij erop toe dat de leerlingen de experimenten met de brillenglazen op de juiste wijze uitvoerden. Het positieve oordeel van de docent over de ontwikkelde leerstof kwam eveneens tot uiting in zijn voornemen om in de lopende cursus ook aan leerlingen uit 5-havo een aantal problemen uit de probleemtaken over het oog voor te leggen. Deze leerlingen hadden hier overigens zelf om gevraagd: *‘Wij willen die proeven ook graag doen.’*

Ook de docente van de parallelgroep biologie gaf te kennen dat zij conform het scenario met de probleemtaken kon werken. Omdat beide biologiedocenten vonden dat de uitgewerkte probleemtaken in de praktijk goed voldeden, willen zij deze ook in de volgende cursus aanbieden.

De docenten raakten overtuigd van de waarde van probleemgestuurd leren en zouden dit graag op grotere schaal in praktijk te brengen. De voornaamste beperkende factor hiervoor is volgens hen het ontbreken van uitgewerkte probleemtaken.

- Zijn de in de probleemtaken geformuleerde problemen voldoende motiverend voor de leerlingen?

De onderzoeker constateerde tijdens zijn observatie van de leerlingen dat zij zeer waren gemotiveerd en geanimeerd discussieerden over mogelijke oplossingen van de problemen en dat de problemen waarbij ze experimenten moesten uitvoeren met brillenglazen hen het meest aanspraken. Deze waarneming van de onderzoeker werd bevestigd door uitspraken van de leerlingen tijdens de klassikale bespreking na afloop van het uitvoeren van de probleemtaken. De docente van de parallelgroep had deze positieve effecten bij haar leerlingen eveneens opgemerkt. De motivatie van deze leerlingen bleek ook uit hun verzoek aan de docente om een excursie te organiseren naar een centrum voor optometrie, waarop zij positief reageerde.

- Zijn de in de probleemtaken geformuleerde problemen geschikt om door leerlingen zelfstandig te worden verwerkt?

De leerlingen waren al gewend aan zelfstandig werken. Het bleek dan ook dat zij - behoudens een enkele aanwijzing van de docent - in staat waren de problemen zelfstandig op te lossen.

De voorbeeldmatig uitgewerkte probleemtaken waren overigens nog niet ingericht op een toenemende mate van zelfstandig werken door de leerlingen. We zijn er echter van overtuigd dat de suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) hiervoor voldoende mogelijkheden bieden.

- Heeft het oplossen van de in de probleemtaken geformuleerde problemen bij de leerlingen geleid tot toename van kennis en inzicht?

Bij de bespreking van de resultaten van de posttest concludeerden we dat er duidelijk sprake was van toename van kennis en inzicht bij de leerlingen als gevolg van het werken met de probleemtaken. Dit bleek ook uit observaties van de onderzoeker tijdens de lessenreeks en uit gesprekken met de betrokken docent.

Bij de parallelgroep biologie was eveneens sprake van toename van kennis en inzicht, maar - door een andere uitgangssituatie - in mindere mate.

In § 4.11.2 concludeerden we dat het ontwikkelde leerstofontwerp beantwoordde aan een groot deel van de door ons geformuleerde didactische uitgangspunten (§ 4.8, tabel 4.2). Omdat de empirische toetsing alleen de uitgewerkte probleemtaken betrof en slechts vier lessen omvatte, is de verkregen informatie ten aanzien van de vraag in hoeverre de didactische uitgangspunten zijn gerealiseerd, beperkt.

Voor wat betreft het uitgangspunt 'Bevorderen van intrinsiek gemotiveerd studiegedrag' gaven we in deze paragraaf aan dat het werken aan de probleemtaken dit gedrag

bij de leerlingen inderdaad stimuleerde. Dit werd vooral duidelijk bij het oplossen van problemen waarbij experimenten moesten worden uitgevoerd. De leerlingen verklaarden dat het oplossen van dergelijke problemen hun nieuwsgierigheid prikkelde en hen daardoor motiveerde om de oplossing van een volgend probleem te vinden. In verband hiermee waren de docenten van plan de leerlingen bij de behandeling van het binoculaire zien enkele experimenten gebaseerd op de proef van Maddox (bijlage 11) te laten uitvoeren.

Het uitgangspunt 'Rekening houden met misconcepties' is verdisconteerd in de opzet van de probleemtaken. Bij de empirische toetsing bleek dat het oplossen van de problemen inderdaad heeft geleid tot het verminderen van enkele bij de leerlingen bestaande misconcepties. Zo droeg de dynamische benadering van het oog - onder meer door uit te gaan van ogen met functieafwijkingen en deze te beschouwen als varianten van normaal-ziende ogen - bij aan het verminderen van bepaalde misconcepties. Als gevolg van deze benadering leerden de meeste leerlingen bijvoorbeeld inzien dat een oudere bijziende nog steeds een bril nodig heeft om in de verte scherp te kunnen zien. Verder kregen ze een duidelijk inzicht in het verschil tussen (over)verziendheid en ouderdomsverziendheid en ervoeren ze - proefondervindelijk - dat accommodatie niet is beperkt tot het zien op leesafstand.

Het oplossen van de problemen heeft enigszins bijgedragen aan het realiseren van enkele andere uitgangspunten, namelijk 'Het ontwikkelen van vaardigheden', in dit geval van onderzoeksvaardigheden met betrekking tot het correct uitvoeren van experimenten met brillenglazen; 'Beschouwen van biologische systemen als functionele organisaties', waarbij de leerlingen leerden inzien dat goed zien een kwestie is van afstemming van variabelen binnen de oogstructuur; en 'Problemen in een herkenbare realistische context plaatsen', doordat de problemen aanwijsbare affiniteit hebben met de beroepspraktijk en zo ook door de leerlingen werden opgevat.

We concluderen dat bij de uitvoering van de probleemgestuurde lessenreeks over het oog - die overigens slechts een deel van de examenstof biologie en natuurkunde over het oog betrof - maar een beperkt aantal van de didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp is verwezenlijkt. Zoals we aangaven in § 4.11.2, zijn er mogelijkheden om ook de overige uitgangspunten te realiseren, met name wanneer de voor het planniveau bedoelde suggesties voor probleemtaken die betrekking hebben op de overige onderwerpen uit de eindexamenprogramma's biologie en natuurkunde betreffende het oog, zijn uitgewerkt voor de onderwijspraktijk.

We eindigen deze bespreking met een samenvatting en een conclusie.

Bij de uitvoering van de probleemtaken 'Scherp en onscherp zien' en 'Accommodatie' is duidelijk geworden dat de betrokken docenten conform het scenario met de ontwikkelde leerstof konden werken en dat de leerlingen de aangeboden problemen gemotiveerd en met succes oplosten en dat er bij hen sprake was van duidelijke toename van kennis en inzicht. Voorts is gebleken dat het onderwerp 'zien' een hoog realiteitsgehalte heeft en nauw is verbonden met de beleavings- en ervaringswereld van de leerlingen

en dat functieafwijkingen geschikt zijn om te gebruiken als startpunt voor een probleemgestuurde aanpak.

We merken op dat het - uit constructivistisch oogpunt - zeer belangrijk is dat de voorkennis van de leerlingen op het juiste peil wordt gebracht. Achteraf gezien is daar te weinig aandacht aan besteed.

We concluderen dat de uitgewerkte probleemtaken geschikt zijn voor gebruik in de onderwijspraktijk en dat de daarbij geformuleerde doelen kunnen worden gerealiseerd.

Gezien het gunstige oordeel van docenten en leerlingen over het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp, kunnen - ons inziens - de voor het planniveau bedoelde suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) op overeenkomstige wijze in probleemtaken worden uitgewerkt.

Tot slot merken we ten aanzien van het in dit hoofdstuk beschreven praktijkonderzoek op dat dit kenmerken vertoont van een ontwikkelingsonderzoek. Terwel (1984) omschrijft ontwikkelingsonderzoek als een vorm van onderzoek gericht op het leveren van een directe bijdrage aan de ontwikkeling van onderwijs. Dergelijk onderzoek heeft een cyclisch karakter. Ook in ons onderzoek was er sprake van een cyclisch proces, waarbij telkens bijgestelde versies van delen van de voorbeeldmatig ontwikkelde geïntegreerde leerstof werden voorgelegd, zowel aan de deelnemende docenten natuurwetenschappen als aan de tegenlezers, totdat er een volledige consensus bestond over de definitieve versie ervan. Bovendien werd het leerstofontwerp voorgelegd aan enkele specialisten op het gebied van 'het oog'. Voorts werd het draagvlak van het ontwerp voor de onderwijspraktijk verkend door het inschakelen van ervaren docenten en deskundigen van het planniveau (zie § 4.12). Ook naar aanleiding van de commentaren van deze personen vond weer bijstelling van het ontwerp plaats (zie bijlage 14). Verder is het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp empirisch getoetst. Uit deze toetsing kwam naar voren dat er - zowel naar het oordeel van de docent als van de leerlingen - geen aanleiding was tot bijstelling van het getoetste deel van het leerstofontwerp voor wat betreft inhoud, formulering en sequentie van de problemen in de probleemtaken. Bij 'het maken van onderwijs' vindt Terwel samenwerking tussen deskundigen uit de wetenschappelijke sector en uit het onderwijsveld noodzakelijk (vergelijk Lagerweij, 1982). Een belangrijke voorwaarde voor de genoemde samenwerking is volgens Terwel dat leraren, onderzoeker en ontwikkelaars elkaar kunnen vinden in een bepaalde streefrichting. In ons geval zaten onderzoeker en de docenten natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum op één lijn wat betreft opvattingen over samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen, ideeën over integratie van leerstof en de keuze voor bepaalde didactische uitgangspunten voor het leerstofontwerp, zoals de keuze voor probleemgestuurd leren en voor functieafwijkingen van het oog als uitgangspunt voor de formulering van probleemtaken.

Volgens Terwel dient het ontwikkelde onderwijs een voorlopig, voorbeeldmatig karakter te hebben dat mogelijkheden biedt tot aanpassing aan specifieke omstandigheden en dat modificatie toelaat in verband met verschillende visies op mens en maatschappij.

Het in dit onderzoek ontwikkelde ontwerp van geïntegreerde leerstof sluit hierbij aan en is derhalve niet geheel in detail uitgewerkt. Het heeft een voorbeeldmatig karakter, waarbij aanpassing aan specifieke omstandigheden zeer wel mogelijk is. De ontwikkeling van geïntegreerde leerstof als voorbeeld voor - zoals in ons geval - het planniveau impliceert per definitie mogelijkheden tot modificatie.

5. Slotbeschouwing

In dit hoofdstuk besteden we aandacht aan enkele aspecten van het onderzoek. In § 5.1 plaatsen we de factoren die van invloed waren op de intentie van onderzoeker en docenten tot het gezamenlijk ontwikkelen van een exemplarisch leerstofontwerp in het model van Ajzen & Madden (1986). Voorts vergelijken we in § 5.2 enkele van onze bevindingen met gegevens uit de literatuur van na 1 januari 1998. Ten slotte gaan we in § 5.3 in op de opbrengsten van het onderzoek en doen we een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek.

5.1 Factoren die van invloed waren op de intentie tot het gezamenlijk ontwikkelen en/of uitvoeren van geïntegreerde leerstof

Zoals we aangaven in § 3.7.3 vloeit bepaald gedrag - in dit geval het gezamenlijk ontwikkelen en/of uitvoeren van geïntegreerde leerstof - voort uit de intentie, het voornemen, om dit gedrag te vertonen. Deze intentie komt tot stand door een afweging van drie factoren, namelijk de attitude, de subjectieve norm en de eigen effectiviteit. De attitude is de houding van een persoon ten aanzien van bepaald gedrag en weerspiegelt wat hij zelf van dit gedrag vindt. De subjectieve norm betreft de sociale druk die iemand voelt om zich op een bepaalde manier te gedragen. De eigen effectiviteit heeft betrekking op de persoonlijke inschatting van het gemak of de moeite waarmee het gedrag daadwerkelijk kan worden uitgevoerd.

De positieve attitude van een aantal docenten in de natuurwetenschappen van het Comenius College in Hilversum leverde de belangrijkste bijdrage aan hun intentie om deel te nemen aan het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof. Een aanwijzing voor de bereidheid van deze docenten om hieraan deel te nemen, had de onderzoeker al gekregen voordat er plannen werden gemaakt om dit werkelijk te gaan doen. Eén van de natuurkundedocenten was er - na het volgen van een nascholingscursus optica - namelijk van overtuigd geraakt dat in de toekomst de leerstof over het oog gezamenlijk met de biologiedocenten zou moeten worden aangeboden. Deze docent wilde dan ook graag deelnemen aan het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof. De overige aangezochte docenten reageerden eveneens positief. De positieve attitude van de betrokken docenten was gebaseerd op hun verwachting dat het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof zou leiden tot positieve uitkomsten, bijvoorbeeld dat hierop gebaseerd onderwijs zou leiden tot een aantal gunstige effecten op leerlingen.

De subjectieve norm was eveneens positief. De intentie van de betrokken docenten werd namelijk gestimuleerd door de sfeer binnen de school en de opstelling van schoolleiding en collega's uit de natuurwetenschappelijke secties ten opzichte van een project waarin geïntegreerde leerstof zou worden ontwikkeld. De sfeer binnen een

school is een belangrijke factor bij het motiveren van docenten om deel te nemen aan vernieuwingsprojecten. Op het Comenius College in Hilversum bestond destijds - en bestaat nog steeds - een sfeer van vernieuwingsgezindheid op basis van een goede organisatie- en overlegstructuur, een goede relatie tussen de docenten en van goed functionerende secties. Met name binnen de secties natuurwetenschappen is er sprake van een vriendschappelijke en hulpvaardige sfeer en zijn er goede afspraken gemaakt, bijvoorbeeld over organisatorische en didactische kwesties. Een goede sfeer binnen een scholengemeenschap - als onderdeel van de 'ecologie' van de school - heeft niet alleen een positief effect op de motivatie van leerlingen (Genseberger, 1997), maar heeft ook grote invloed op de mate waarin docenten bereid zijn te participeren in vernieuwingsprojecten (vergelijk Guyton & McIntyre, 1990; Koetsier, 1991).

Voor wat betreft de inschatting van de eigen effectiviteit ten opzichte van het beoogde gedrag - een subjectief oordeel ten aanzien van de uitvoerbaarheid - waren de docenten ervan overtuigd dat dit project een goede kans van slagen zou hebben.

Er bestonden echter nog wel remmende c.q. belemmerende factoren om deze intentie daadwerkelijk in gedrag om te zetten. Zo stelden de betrokken docenten aanvankelijk dat hun vak kennis op het gebied van het oog een belemmerende factor vormde. De onderzoeker had hen namelijk een kort overzicht gegeven van een mogelijke aanpak van het te ontwikkelen leerstofontwerp. Daarbij stelde hij voor uit te gaan van functieafwijkingen van het oog. De docenten stemden hiermee in, maar gaven aan dat hun kennis op dit specifieke gebied tekort schoot. De onderzoeker zegde hen daarom toe dat hij voor relevante informatie zou zorgen en eventueel deskundigen zou raadplegen op het gebied van de oogheelkunde en de oogheelkundige fysica.

Een zwaarder wegende remmende factor - eigenlijk een belemmerende factor - was het tijdgebrek bij de betrokken docenten in verband met de voorbereidingen op de nieuwe tweede fase. Zo waren zij als gevolg hiervan niet in staat om tijdens plenaire bijeenkomsten het gezamenlijk ontwikkelen van de leerstof voor te bereiden en de ontwikkelde leerstof te bespreken. Verder konden zij niet veel tijd investeren in het daadwerkelijk ontwikkelen van de probleemtaken.

We merken op dat docenten in het algemeen gesproken niet toekomen aan het ontwikkelen van geïntegreerde curriculumonderdelen. We wezen er al eerder op dat tijdgebrek bij docenten hiervoor de belangrijkste belemmerende factor is en dat de implementatie van de nieuwe tweede fase een grote tijdsinvestering van hen vergt. Ook Terwel (1984) noemt het een illusie te denken dat het ontwikkelen van curriculumonderdelen door een groepje docenten met een normale dagtaak kan worden uitgevoerd.

Hoewel de omstandigheden voor de betrokken docenten van het Comenius College niet anders waren dan in voorgaande alinea aangegeven, was het voor de onderzoeker toch mogelijk om samen met hen geïntegreerd lesmateriaal te ontwikkelen. Dit was het gevolg van bijzondere omstandigheden. De onderzoeker was namelijk jarenlang verbonden aan het Comenius College als leraar biologie en als corrector van de bovenbouw van het vwo. Bovendien was hij daar tot juli 1999 nog werkzaam als docent

EHBO en primaire reanimatie. Als gevolg van de uitstekende verstandhouding met de docenten uit de secties natuurwetenschappen en doordat zij het onderwerp belangrijk vonden, was een aantal docenten bereid hun medewerking te verlenen aan een project waarvoor zij eigenlijk geen tijd hadden. De onderzoeker streefde er dan ook naar om het overleg voor de docenten zo efficiënt mogelijk te laten verlopen door rekening te houden met hun roosters. Zo raadpleegde hij hen tijdens tussenuren, na afloop van hun lesstaak en soms in pauzes. Bij het raadplegen van de technisch-onderwijsassistenten hield hij eveneens rekening met de werkzaamheden van deze personen.

Doordat de onderzoeker altijd beschikbaar kon zijn op de door de docenten gewenste momenten, verliep de samenwerking met hen zonder problemen. De samenwerking werd ook vergemakkelijkt doordat de onderzoeker het voortouw nam en doordat hij door zijn medische achtergrond en zijn speciale belangstelling voor het oog, goed op de hoogte was van de mogelijkheden die dit onderwerp zou kunnen bieden voor het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal.

Ten slotte merken we op dat de onderzoeker door zijn voormalige functie als conrector gemakkelijk toegang had tot de faciliteiten van de school en dat hij van de leden van de schoolleiding en de coördinatoren veel informatie kreeg over de plannen voor de nieuwe tweede fase.

We concluderen dat het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal alleen mogelijk was door de positie van de onderzoeker als 'insider'. Wanneer hij geen docent in één van de natuurwetenschappen aan dezelfde school was geweest, zou dit niet mogelijk zijn geweest. De desbetreffende docenten gaven namelijk te kennen dat zij - afgezien van de tijdsinvestering - een aanvraag van externe deskundigen om samen dergelijk materiaal te ontwikkelen, niet zouden hebben gehonoreerd. In dit verband merken we op dat diverse auteurs het van groot belang vinden dat onderzoeker en participanten in een praktijknabij onderzoek een geruime tijd met elkaar hebben samengewerkt en een vertrouwensrelatie hebben opgebouwd (vergelijk Bruyn, 1966; Koopmans, 1976; Guba, 1978; Créton & Wubbels, 1984; Janssens, 1986; Koetsier, 1991).

Het meewerken van de betrokken docenten van het Comenius College aan het ontwikkelen van een exemplarisch leerstofontwerp heeft een positieve invloed gehad op hun attitude ten aanzien van samenwerking en integratie en heeft daardoor hun intentie om te streven naar meer vakinhoudelijke samenwerking en integratie versterkt. Zo hadden zij een belangrijke inbreng bij het ontwikkelen en herzien van studiewijzers voor de natuurwetenschappelijke vakken voor de bovenbouw vwo en havo, waarbij ernaar werd gestreefd deze steeds meer toe te snijden op probleemgestuurd leren en - waar mogelijk - op een geïntegreerd leerstofaanbod.

Voorts verleenden met name de docenten die participeerden in het ontwikkelen van het geïntegreerde leerstofontwerp hun steun aan het realiseren van een gemeenschappelijke practicumruimte, omdat zij verwachtten dat hierdoor niet alleen de samenwerking tussen de docenten zal worden bevorderd, maar tevens die tussen de technisch-onderwijsassistenten. Ook voor de leerlingen vonden zij een dergelijke voorziening

van belang, omdat deze daardoor meer samenhang kunnen gaan zien tussen de praktische onderzoeksmethoden bij de diverse natuurwetenschappen. Ten slotte namen docenten uit de natuurwetenschappelijke secties deel aan de nascholing voor het vak 'Algemene Natuurwetenschappen'. Volgens hun zeggen leidde deze nascholing tot een bredere blik op de natuurwetenschappen en werd daardoor hun interesse in aanpalende vakgebieden duidelijk gestimuleerd.

Voor wat betreft de subjectieve norm, stimuleerde de schoolleiding het streven van de docenten naar meer integratie en vakinhoudelijke samenwerking door hen tijdens het cursusjaar 1998-1999 een door het Algemeen Pedagogisch Studiecentrum (APS) ontwikkelde cursus te laten volgen over 'Zelfstandig werken aan opdrachten'. Bij deze cursus werd gewerkt in vakkenclusters, waaronder het cluster biologie, natuurkunde, scheikunde en verzorging. Eén van de doelen van het werken in vakkenclusters was het bevorderen van integratie, in eerste instantie op het gebied van vaardigheden.

We hebben de indruk gekregen dat het deelnemen aan het ontwikkelen van geïntegreerde leerstof de betrokken docenten heeft gestimuleerd tot de in de voorafgaande alinea genoemde activiteiten en dat deze activiteiten op hun beurt weer een positieve invloed hebben gehad op hun intentie ten aanzien van samenwerking en integratie van leerstof. Het gunstige oordeel van de bij de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp geraadpleegde deskundigen over de bruikbaarheid in de praktijk van de ontwikkelde leerstof heeft zeker bijgedragen aan deze intentie. Zoals voor de hand ligt, was echter voor hen de belangrijkste bijdrage hieraan het gegeven dat de uitgewerkte probleemtaken door een collega van de KSG De Breul met succes in de klas waren uitgeprobeerd. Dit is een extra stimulans voor hen om de uitgewerkte probleemtaken zelf aan te bieden wanneer het profiel 'Natuur en Gezondheid' - in 2001 - zal zijn ingevoerd in 6-vwo. Deze stimulans geldt ook voor hun verdere voornemens namelijk om de suggesties voor de probleemtaken uit te werken en deze in de klas te laten uitvoeren. Ook willen zij nagaan in hoeverre integratie van leerstofonderdelen mogelijk is bij andere thema's, zoals biochemie en biofysica. Bij biochemie komt volgens hen een thema als stofwisseling in aanmerking. Bij biofysica zien zij bijvoorbeeld mogelijkheden voor integratie bij het onderwerp 'sensoren' uit de natuurkunde en 'bloeddruk, hart en bloedsomloop' bij biologie. Uit het bovenstaande blijkt dat *daadwerkelijke* vakinhoudelijke samenwerking bij het ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal de intentie van de betrokken docenten stimuleert om dit materiaal aan te bieden en voorbereidingen te treffen voor verdere vakinhoudelijke samenwerking. Het ontwikkelde materiaal motiveerde de docenten tot het maken van concrete plannen naar de toekomst (vergelijk Eijkelhof, 1990; Roebertsen, 1996; Reygel, 1997; Buddingh', 1997).

Samenvattend concluderen we dat diverse factoren de intentie van de docenten tot het gezamenlijk ontwikkelen van geïntegreerde leerstof gunstig beïnvloedden: het mee ontwikkelen van deze leerstof had een positief effect op de intentie van deze docenten om deel te nemen aan andere, reeds bestaande activiteiten op het gebied van samen-

werking en integratie van leerstof. Het deelnemen aan die andere activiteiten had weer een gunstig effect op hun intentie tot samenwerking en integratie in het algemeen (vergelijk Myers, 1980, 1987a,b).

Ter afsluiting van deze paragraaf maken we nog twee opmerkingen.

We nemen voorsnog aan dat vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten kan worden gestimuleerd door het beschikbaar stellen van geïntegreerd lesmateriaal. Uit de literatuurstudie bleek eveneens dat docenten in twee van de in de literatuur beschreven praktijkvoorbeelden gebruikmaakten van geïntegreerd lesmateriaal ontwikkeld door deskundigen uit de verzorgingsstructuur. Alvorens het lesmateriaal aan te bieden, maakten de docenten gezamenlijk dit materiaal geschikt voor de onderwijssituatie van hun school. Tevens vond tijdens het aanbieden van het lesmateriaal vakinhoudelijke samenwerking plaats tussen deze docenten. Zij wisselden bijvoorbeeld ervaringen uit en overlegden over het inpassen van nieuwe leerstofelementen in het programma. Ook volgens de bij de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp geraadpleegde deskundigen en de bij de empirische toetsing van de uitgewerkte probleemtaken betrokken docenten zal het beschikbaar komen van geïntegreerde leerstof samenwerking tussen docenten stimuleren.

Dat het voorhanden zijn van lesmateriaal de intentie van docenten om dit in de klas te gebruiken versterkt, bleek ook bij de empirische toetsing. De bereidheid van de docent om deze toetsing uit te voeren, was een gevolg van het door de onderzoeker beschikbaar stellen van volledig uitgewerkte probleemtaken. In de probleemtaken waren zowel biologische als fysische aspecten duidelijk vertegenwoordigd. In het algemeen gesproken is - naar onze mening - ter voorbereiding van de uitvoering van de probleemtaken vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten biologie en natuurkunde noodzakelijk. De bij de empirische toetsing betrokken docent was echter speciaal geïnteresseerd in de optica en de oogfunctie. Daardoor hoefde hij geen beroep te doen op de natuurkundedocenten om gezamenlijk de uitvoering van de probleemtaken voor te bereiden. Wanneer de voor het planniveau ontwikkelde suggesties voor probleemtaken (bijlage 11) zullen zijn uitgewerkt, dan zal ter voorbereiding op de uitvoering ervan in de praktijk samenwerking tussen docenten biologie en natuurkunde echter zeker nodig zijn. In deze suggesties komen namelijk de minder eenvoudige onderdelen uit de examenstof voor biologie en natuurkunde ter sprake.

Als gevolg van het met succes uitvoeren van de uitgewerkte probleemtaken heeft de bij de empirische toetsing betrokken docent de intentie deze taken ook in de volgende cursus aan te bieden. Dit geldt ook voor de docente van de parallelgroep biologie.

5.2 Enkele bevindingen uit ons onderzoek in het licht van recente literatuurgegevens

In deze paragraaf spiegelen we enkele bevindingen uit ons onderzoek aan wetenschappelijke en/of (didactische) (vak)literatuur verschenen na de afronding van het literatuuronderzoek (1 januari 1998).

Vakgrensoverschrijdend onderwijs

In hoofdstuk 1 hielden we - op grond van vakinhoudelijke en onderwijskundige overwegingen - een pleidooi voor integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken in de vernieuwde tweede fase van het voorgezet onderwijs. Naar de mening van Demuth (1999) dient bij het onderwijs in de natuurwetenschappen echter primair aandacht te worden geschonken aan de vakinhouden binnen de onderscheiden disciplines. Hij is een voorstander van systematisch opgezet onderwijs met een leerstofsequentie waarbij thema's op elkaar voortbouwen en aan elkaar zijn gerelateerd. Dergelijk onderwijs wordt volgens hem het beste gewaarborgd door dit te laten plaatsvinden binnen de afgebakende terreinen van de schoolvakken. Hij neemt dan ook stelling tegen het streven van de Duitse overheid naar uitbreiding van vakgrensoverschrijdend onderwijs, zoals dat in de nieuwe leerplannen van vrijwel alle deelstaten tot uiting komt. De auteur vindt de hiervoor aangevoerde argumenten niet overtuigend, bijvoorbeeld argumenten als het tegengaan van het 'denken in vakjes', het motiveren van de interesse van leerlingen door beter aan te sluiten bij hun leefwereld dan in het bestaande onderwijs het geval is, en het beter aansluiten bij de ontwikkelingen in de moderne wetenschap. Voorts is Demuth van mening dat 'onderwijs in de school' de beste leeromgeving garandeert, omdat de in de school onderwezen vakinhouden, de doorgegeven ervaringen en de toegepaste methoden hiervoor bewust zijn geselecteerd. Hij legt dan ook geen prioriteit bij leefwereld nabije contexten. Het aansluiten van het onderwijs bij de leef- en ervaringswereld van de leerlingen kan, maar het hoeft niet. Volgens Demuth komt vakgrensoverschrijdend onderwijs pas aan de orde wanneer blijkt dat het behandelen van een bepaald thema binnen het betreffende vak niet meer toereikend is. In dat geval moeten vakgrensoverschrijdende aspecten ter sprake komen, waarbij overigens de vakinhouden van de participerende disciplines duidelijk herkenbaar moeten blijven. Het primaat ligt volgens de auteur namelijk bij de vakinhouden, die zodanig moeten worden verankerd in de kennis van de leerlingen dat ze kunnen worden toegepast bij thema's binnen maar ook buiten het betreffende schoolvak.

We delen de opvatting van Demuth niet. In zijn optiek lijkt vakgrensoverschrijdend onderwijs een incidenteel karakter te hebben. Zoals we in hoofdstuk 1 aangaven zijn we voor wat betreft de biologie van mening dat integratie direct en onontkoombaar voortvloeit uit de aard van de biologie en haar positie ten opzichte van de andere natuurwetenschappen en zou integratie van het onderwijs in deze vakken - waar (maar)

mogelijk - moeten plaatsvinden.

Ons inziens is er echter in het Nederlandse onderwijsbestel - met name in de hoogste leerjaren - geen ruimte voor integratie van de natuurwetenschappelijke vakken *over hun volle breedte* (zie § 1.1). We zien echter in de hoogste leerjaren wel mogelijkheden voor integratie van *leerstofonderdelen*. Ook de respondenten uit de Delphi-studie zijn deze mening toegedaan. Uit de literatuurstudie en uit de praktijkstudie blijkt dat deze integratie inderdaad mogelijk is en gunstige effecten heeft op leerlingen en docenten. In de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs wordt gestreefd naar meer samenhang tussen de vakken zoals onder meer tot uiting komt in het vak 'Algemene Natuurwetenschappen' en in het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Hierbij wordt bijvoorbeeld aandacht geschonken aan thema's met een interdisciplinair karakter, zoals grote wetenschappelijke ideeën en maatschappelijk relevante thema's.

Overigens zijn er - rekening houdend met het spanningsveld tussen het ordelijk beheersen van de leerstof en het minimaliseren van systeemscheiding - ook naar onze mening leerstofonderdelen die beter gescheiden kunnen worden aangeboden (vergelijk Van Parreren, 1970a,b, 1991). Zo bevat bijvoorbeeld het leerstofontwerp niet de zogenoemde basisoptica en de anatomie en functie van het oog, omdat onderzoeker en docenten vonden dat deze elementaire leerstof gescheiden moet worden aangeboden, voorafgaand aan de geïntegreerde probleemtaken.

Ten slotte zijn er volgens Demuth geen scherpe grenzen tussen vakgrensoverschrijdend onderwijs en vakkenverbinding. In ons onderzoek heeft de term 'vakgrensoverschrijdend' een algemene betekenis en is 'vakkenverbinding' één van de vormen waarin vakgrensoverschrijdend onderwijs kan worden gerealiseerd (vergelijk § 2.5).

Ten aanzien van de voorwaarde van Demuth dat bij vakgrensoverschrijdend onderwijs de vakinhouden van de deelnemende vakken herkenbaar moeten blijven, merken we op dat dit in onze visie geen voorwaarde vooraf mag zijn, maar dat de mate van integratie van leerstof(onderdelen) afhankelijk is van het thema en de op de school haalbare vorm van integratie (zie § 2.5).

Samenwerking tussen docenten

In § 2.6.5 wezen we erop dat - vóór de invoering van de profielen - de vrije pakketkeuze en de wijze van roosteren belemmerende factoren waren voor integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken en voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten en dat hiervoor in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs meer mogelijkheden zouden zijn. Ook de respondenten uit de Delphi-studie wijzen hierop.

Van der Valk, Broekman & De Jong (1998) noemen in een artikel getiteld 'Concerns van docenten over samenwerking in β -profielteams' eveneens deze belemmerende factoren en wijzen ook op de toegenomen mogelijkheden voor samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen en wiskunde in de nieuwe tweede fase. Om de samenwerking tussen docenten uit de secties exacte vakken binnen de profielen

'Natuur en Gezondheid' en 'Natuur en Techniek' te bevorderen, is - onder auspiciën van CD- β en IVLOS - in 1997 het project ' β -Profielen in het Studiehuis' (BPS-project) gestart met als uiteindelijke doel het ontwikkelen van een 'studiehuisdidactiek' voor de β -vakken. Bij raadpleging van docenten uit de β -secties van twee projectscholen die hadden aangegeven dat ze samen een profielteam wilden vormen, bleek dat zij de intentie hadden om samen te werken. Deze samenwerking was echter wel gebonden aan bepaalde voorwaarden. Zo zou deze moeten zijn gericht op het voor de leerlingen creëren van een stimulerende leeromgeving, waarin zij steeds weer worden uitgedaagd en inhoudelijk gemotiveerd om zich in de β -vakken te verdiepen (vergelijk Hooymayers, e.a. 1997). Voorts zou de beoogde samenwerking moeten zijn gericht op het ontwikkelen van een gezamenlijke β -didactiek met onder meer aandacht voor gemeenschappelijke vaardigheden, en het ontwikkelen van gezamenlijke projecten. Het oordeel van de docenten ten aanzien van de uitvoerbaarheid hiervan - de inschatting van de eigen effectiviteit - werd mede bepaald door concerns, zoals de mogelijkheden om de leerlingen te motiveren en om hen tot zelfstandig leren te brengen. De overladenheid van de examenprogramma's, ervoeren de docenten als een remmende factor.

Volgens de auteurs moet er - bij deelname aan projecten die de implementatie van vernieuwingen in het studiehuis nastreven - aandacht worden besteed aan de persoonlijke betrokkenheid van docenten, aan de consequenties van de vernieuwingen voor de leerlingen, aan de beheersing door docenten van nieuwe vaardigheden die van hen worden vereist, en aan samenwerking. Zij zijn ervan overtuigd dat samenwerking tussen secties de docenten een nieuw perspectief kan bieden en hun vernieuwingsgezindheid kan stimuleren, waarbij eerdere gunstige ervaringen met vernieuwingen een belangrijke rol kunnen spelen. Ook respondenten uit de ten behoeve van ons onderzoek uitgevoerde Delphi-studie waren deze mening toegedaan. Samenvattend kan worden gesteld dat deze uitkomsten volledig overeenstemmen met wat door ons eerder is gesteld en de daar geponeerde stellingen en verwachtingen bevestigen of onderschrijven.

Aansprekende praktijkvoorbeelden

Beschikbaarheid van geïntegreerd lesmateriaal kan verdere integratie bevorderen (zie § 2.6.4). We denken daarbij aan publicaties van aansprekende praktijkvoorbeelden die docenten in de natuurwetenschappen kunnen motiveren tot het gezamenlijk ontwikkelen c.q. gebruiken van geïntegreerde leerstof. We wezen erop dat vakbladen in toeneemende mate publicaties op natuurwetenschappelijk gebied bevatten die bruikbaar zijn voor integratie/vakinhoudelijke samenwerking in de vernieuwde Nederlandse tweede fase (zie onder meer Voogt & Fockens, 1996; Fockens & Voogt, 1997a,b). Deze publicaties worden bijvoorbeeld gebruikt in de universitaire lerarenopleiding in Leiden.

In de recente literatuur heeft deze tendens zich voortgezet. In de afgelopen jaren is in een reeks van artikelen in de Nederlandse (didactische) vakliteratuur met name aandacht besteed aan het profielwerkstuk in het algemeen (De Gruijter, 1998; Moréls, 1998) en aan het interdisciplinaire karakter ervan. Met betrekking tot het laatste be-

schrijven de onderstaande auteurs - aan de hand van voorbeelden - welke mogelijkheden er zijn op het gebied van integratie van thema's uit de natuurwetenschappelijke vakken, die bruikbaar zijn voor een profielwerkstuk (Foeken, 1998; Den Hertog, 1998; Voogt, 1998; Fockens & Voogt, 1999; Voogt, 1999a,b,c).

Functieafwijkingen

Functieafwijkingen van het oog, zoals bijziendheid en verziendheid werden door onderzoeker en docenten natuurwetenschappen van het Comenius College gekozen als uitgangspunt voor het formuleren van problemen binnen de probleemtaken 'Scherp en onscherp zien' en 'Accommodatie'. Functieafwijkingen zoals bijziendheid en verziendheid maken deel uit van de eindexamenstof biologie en natuurkunde. Bijziendheid is - ons inziens - zeer geschikt als startpunt voor experimenten, omdat de leerlingen daarbij de ligging van het vertepunt kunnen bepalen, hetgeen ook essentieel is voor een goed begrip van de normale oogfunctie. Bovendien kunnen - door het normale oog te vergelijken met het oog met functieafwijkingen - misconcepties worden verminderd c.q. worden vermeden (zie § 4.8) en kunnen het karakter van het oog als biologisch systeem en de mogelijkheden van een dergelijk systeem meer naar voren komen. Andere motieven voor deze keuze waren onder meer dat functieafwijkingen van het oog goed aansluiten bij de leefwereld van de leerlingen en daardoor hun motivatie kunnen bevorderen.

We merken op dat in de oogheelkunde onderscheid wordt gemaakt tussen functieafwijkingen of functiestoornissen en oogziekten. De functieafwijkingen van het oog omvatten onder meer bijziendheid, verziendheid en ouderdomsverziendheid. Visuele functieafwijkingen worden beschouwd als afwijkingen van het fysisch-optische systeem, waarbij er sprake is van een niet (langer) correcte onderlinge afstemming van de optische componenten van het oog (vergelijk Stilma & Voorn, 1993). Het bijziende en verziende oog worden dan ook wel aangeduid als anatomische varianten van het normale oog (vergelijk De Jong, 1996). Ook patho(fysio)logische processen kunnen leiden tot functieafwijkingen. Dit type functieafwijkingen is minder geschikt om het systeemdenken door leerlingen te bevorderen en derhalve minder bruikbaar als uitgangspunt voor probleemtaken. Wel kunnen deze functieafwijkingen of de daaraan ten grondslag liggende patho(fysio)logische processen worden gebruikt om - zoals hieronder wordt aangegeven - andere doelen te realiseren.

In het volgende gedeelte geven we enkele voorbeelden uit de recente literatuur van het gebruik van patho(fysio)logische processen als uitgangspunt voor het onderwijs. De keuze voor deze processen betrof overigens andere doelen dan we formuleerden bij onze keuze voor functieafwijkingen van het oog als uitgangspunt. De voornaamste redenen die in publicaties worden aangedragen voor de keuze van patho(fysio)logische processen als uitgangspunt voor het onderwijs zijn het motiveren van de leerlingen en het aansluiten bij hun beleavings- en ervaringswereld door de leerstof te plaatsen in een realistisch herkenbare context (Woolverton, 1999; DeRosa & Wolfe, 1999; Woolverton & Liliestedt, 1999). De genoemde auteurs gebruiken patho(fysio)logische proces-

sen om leerlingen (vakgrensoverschrijdende) vaardigheden te laten ontwikkelen als basis voor laboratoriumonderzoek.

Woolverton (1999) maakte daarbij gebruik van door dierenartsen verzamelde klinische laboratoriumgegevens, afkomstig van gezonde en zieke dieren. Volgens de auteur motiveerde deze aanpak de leerlingen en leerden ze diverse vaardigheden te ontwikkelen. DeRosa & Wolfe (1999) gingen uit van sikkelcelanemie om leerlingen onderzoeksvaardigheden te laten verwerven door middel van waarnemingen en laboratoriumexperimenten. Volgens de auteurs verhogen dergelijke experimenten de betrokkenheid van leerlingen bij wetenschappelijk werk en moedigen ze hen aan om ideeën en concepten te formuleren gebaseerd op eerdere ervaringen en verworven kennis.

Woolverton & Liliestedt (1999) lieten leerlingen onderzoek doen naar bacteriële verontreinigingen van de inhoud van oogspoelflessen. De auteurs noemen het door de leerlingen uitgevoerde onderzoek een pedagogisch succes. Leerlingen moesten een duidelijk relevant probleem oplossen. Naast het verwerven van de traditionele onderzoeksvaardigheden kregen de leerlingen veel waardering voor laboratoriumonderzoek, ondanks de frustraties die dergelijk onderzoek vaak met zich meebrengt. Zij vonden veel voldoening in het uitvoeren van de experimenten, temeer daar inderdaad pathogene bacteriën werden aangetroffen. We merken op dat dit onderzoek geen betrekking had op patho(fysio)logische processen, maar op pathogenen die zulke processen kunnen veroorzaken.

In de volgende publicaties komt ter sprake dat met behulp van een patho(fysio)logisch uitgangspunt de motivatie van leerlingen kan worden bevorderd door hen te laten ervaren hoe wetenschappelijke informatie wordt verkregen en door hen zelf experimenten te laten uitvoeren.

Volgens Guilfoile (1999) begrijpen leerlingen beter hoe ontdekkingen van wetenschappers totstandkomen wanneer zij de beschikking hebben over beschrijvingen van lopend wetenschappelijk onderzoek. De auteur koos hiervoor een verslag van het verloop van het onderzoek naar HIV-vaccins. De auteur vermeldt dat de leerlingen met behulp van dit verslag een goede indruk kregen van het - vaak moeizame - verloop van wetenschappelijk onderzoek en daardoor duidelijk werden gemotiveerd.

Naar de mening van Lesiuk & Drewes (1999) krijgen leerlingen door directe waarneming een beter begrip van de interacties tussen en de interne functies van orgaansystemen van dieren en daardoor ook van mensen. Zij lieten bijvoorbeeld leerlingen de werking nagaan van nicotine en cafeïne op de hartfunctie van wormen. De auteurs constateerden dat deze directe waarneming motiverend werkte op leerlingen en docenten. Volledigheidshalve merken we op dat in Nederland dergelijke proeven geen grote bijval in het veld zullen oogsten.

We concluderen op basis van bovenstaande publicaties dat met patho(fysio)logische processen als uitgangspunt voor het onderwijs diverse doelen zijn te realiseren, zoals het verwerven van vaardigheden, begrip van het verloop van wetenschappelijk onder-

zoek in de praktijk en directe waarneming van interacties tussen orgaansystemen. Om de leerlingen te motiveren werd onder andere aansluiting gezocht bij hun beleavings- en ervaringswereld. We merken op dat patho(fysio)logische processen door de bovengenoemde auteurs werden gebruikt als *middel* om bepaalde doelen te realiseren. Bij het formuleren van de problemen in de probleemtaken fungeerde het uitgangspunt 'functiafwijkingen van het oog' ook als *doel*, onder andere omdat deze functiafwijkingen deel uitmaken van de eindexamenprogramma's voor biologie en natuurkunde.

5.3 Opbrengsten van het onderzoek en aanbevelingen voor verder onderzoek

In deze paragraaf beschrijven we de belangrijkste opbrengsten van het onderzoek. We sluiten af met enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

In de eerste plaats heeft met name het praktijkonderzoek een materiële opbrengst gehad voor het Comenius College in Hilversum. De docenten natuurwetenschappen kunnen nu immers beschikken over het ontwikkelde materiaal. Voorts is er een immateriële opbrengst. Als gevolg van het gezamenlijk ontwikkelen van het geïntegreerde lesmateriaal zijn docenten van plan dit materiaal - na verdere uitwerking - aan te bieden in de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. Het voornemen van de docenten is positief beïnvloed doordat zij het samen met de onderzoeker ontwikkelen van geïntegreerd lesmateriaal om diverse redenen als zinvol hebben ervaren. Het materiaal is namelijk toegesneden op het studiehuisconcept en legt een sterk accent op het door leerlingen zelf uitvoeren van experimenten. Verder is probleemgestuurd leren gekozen als didactische benadering. Deze benadering sluit aan bij het streven binnen de school om studiewijzers een steeds meer probleemgestuurd karakter te geven. Ten slotte hebben de betrokken docenten ervaren dat vakdidactisch onderzoek nauw kan aansluiten bij de dagelijkse onderwijspraktijk en dat het mogelijk is dat docenten daarin kunnen participeren. Wanneer we de bovengenoemde uitkomsten van het onderzoek relateren aan het in § 3.7.3 gepresenteerde model voor gedragsbeïnvloeding, dan blijkt dat deze uitkomsten duidelijk hebben geleid tot een positieve invloed op de intentie van de betreffende docenten tot vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstofonderdelen.

Voorts heeft het onderzoek een opbrengst voor het onderwijs in de natuurwetenschappen in de nieuwe tweede fase in het algemeen. Het uitgewerkte en in de praktijk beproefde deel van het ontwikkelde ontwerp van geïntegreerde leerstof over 'het oog', is beschikbaar voor docenten. Uit de empirische toetsing bleek dat de docent conform het scenario met de uitgewerkte probleemtaken kon werken en dat de leerlingen de problemen gemotiveerd en met succes oplosten.

De suggesties voor uitbreiding van de probleemtaken kunnen - na uitwerking - in de

onderwijspraktijk worden gebruikt om het zelfstandig leren van leerlingen te bevorderen en hen te leren in groepen samen te werken. Hierdoor wordt de aansluiting op het vervolgonderwijs en het toekomstig functioneren als beroepsbeoefenaars vergemakkelijkt.

Daarenboven krijgen de leerlingen een beter inzicht in een biologisch systeem, waarbinnen subsystemen functioneren die het gezamenlijk mogelijk maken dat de functie van het systeem als geheel tot zijn recht komt. Doordat leerlingen duidelijk wordt dat dit slechts goed werkt bij een juiste afstemming van de subsystemen op elkaar, wordt bij hen het systeemdenken bevorderd.

Het ontwikkelde materiaal heeft bovendien een voorbeeldfunctie. Deskundigen van het planniveau - en eventueel docenten - kunnen andere leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke schoolvakken op overeenkomstige wijze uitwerken in probleemtaken.

Verder heeft het onderzoek een opbrengst voor het Centrum voor Didactiek van Wetkunde en Natuurwetenschappen. In het onderzoek is het voor het hoger onderwijs ontwikkelde probleemgestuurde leren met behulp van een exemplarisch ontwerp van geïntegreerde leerstof vertaald naar de nieuwe tweede fase voortgezet onderwijs. Hier is dus sprake van een geconcretiseerd streven naar een activerende didactiek (vergelijk Wubbels & Korthagen, 1995). Bij het geschikt maken van probleemgestuurd leren voor de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs - in dit geval voor het vwo - hebben we ervoor gewaakt om al te complexe taken aan te bieden. Daarom hebben we binnen de probleemtaken 'Scherp en onscherp zien' en 'Accommodatie' een aantal vrij eenvoudige problemen geformuleerd, die de leerlingen kunnen oplossen zonder een (te) intensieve interventie van de docent (vergelijk Dolmans & Snellen-Balendong, 1995; Moust & Schmidt, 1995). Daarnaast hebben we de voor het probleemgestuurde leren ontwikkelde procedure voor het hanteren van probleemtaken vereenvoudigd en enkele componenten van het 'ontwerpend leren' in opgenomen (zie § 4.9.2 en bijlage 8).

De directe opbrengst van het onderzoek voor de didactiek van de natuurwetenschappelijke vakken kunnen we omschrijven als: Beschikbaar is gekomen een algemene aanpak voor (deel)curricula volgens de benadering van probleemgestuurd leren. Doordat deze aanpak ook bruikbaar lijkt voor een geïntegreerde uitwerking van leerstof bij andere thema's uit de natuurwetenschappen, is de indirecte opbrengst groter. Een voorbeeld van een dergelijk thema zou 'hart en circulatie' kunnen zijn. Op elkaar aansluitende aspecten met betrekking tot dit onderwerp uit de examenprogramma's biologie en natuurkunde zijn: hartfunctie en cardiogram, bloeddruk en bloeddrukmeting, stroomsnelheid van het bloed en meting ervan met behulp van het Dopplereffect, en werking van de hart- en slagaderkleppen en echografie. De leerstof van deze aspecten kan de leerlingen worden aangeboden in de vorm van geïntegreerde probleemtaken, waarbij individueel werk, groepswerk en klassikale momenten elkaar kunnen afwisselen.

len. Deze algemene aanpak voor (deel)curricula volgens de benadering van probleem-gestuurd leren wordt gekenmerkt door de volgende drie aspecten.

- Integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken;
- Aansluiten bij de beleavings- en ervaringswereld van leerlingen door het (eventueel) uitgaan van (een equivalent van) functieafwijkingen;
- Aanbieden van de leerstof in de vorm van geïntegreerde probleemtaken waaraan leerlingen zelfstandig kunnen werken, zowel individueel als in groepen.

Uit de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp bleek dat de geraadpleegde deskundigen de gekozen aanpak positief beoordeelden voor gebruik in de praktijk. De uitkomsten van de - bescheiden - empirische toetsing van de uitgewerkte probleemtaken waren eveneens positief.

De opbrengst voor het planniveau - deskundigen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers en schoolboekenschrijvers - is de beschikbaarheid van reeds uitgewerkte probleemtaken en suggesties voor nog uit te werken probleemtaken. Deze taken en suggesties werden door de bij de draagvlakverkenning geraadpleegde deskundigen als goed bruikbaar voor de praktijk beoordeeld. Bij de empirische toetsing bleek dat de docent conform het scenario met de uitgewerkte probleemtaken kon werken en dat de leerlingen deze taken gemotiveerd en met succes oplosten. We nemen aan dat er - gezien het positieve oordeel van gebruikers - een markt voor dergelijke geïntegreerde leerstof zal zijn.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Zoals we in § 1.5 aangaven, was ons streven naar integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappelijke vakken gebaseerd op de interdisciplinaire aard van de biologie als wetenschap en als schoolvak én op het belang van een geïntegreerd leerstofaanbod voor de leerlingen. Het schoolvak biologie biedt - ons inziens - goede mogelijkheden tot integratie doordat het fysische en chemische leerstofelementen bevat.

Voorts veronderstelden we dat integratie in het belang van de leerlingen is, omdat een geïntegreerd leerstofaanbod het meest aansluit bij hun ongedeelde beleavings- en ervaringswereld. Verder verwachtten we dat een dergelijk leerstofaanbod bij leerlingen leidt tot een toename van hun motivatie en begripsontwikkeling.

Een geïntegreerd leerstofaanbod sluit ook goed aan bij de examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken voor de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs, waarin wordt gestreefd naar meer samenhang tussen deze vakken. Het onderwijs in de tweede fase is gebaseerd op het studiehuisconcept. Hierbij wordt vooral aandacht geschonken aan het bevorderen van het actief en zelfstandig leren van de leerlingen, waarbij de docent een steeds meer begeleidende taak krijgt. Probleemgestuurd leren is een onderwijsbenadering die hierbij goed past. Hierbij leren de leerlingen door te werken aan probleemtaken die deel uitmaken van een interdisciplinair thema.

Bovenstaande - theoretische - overwegingen hebben geleid tot het ontwikkelen van een

voorbeeldmatig ontwerp van geïntegreerde leerstof voor het planniveau, uitgaande van de daartoe geformuleerde onderzoeksvraag: *‘Welke kenmerken zou een ontwerp van geïntegreerde leerstof waarbij het zelfstandig leren van de leerlingen wordt bevorderd, moeten hebben en hoe zou een dergelijk ontwerp in samenwerking met docenten in de natuurwetenschappen kunnen worden ontwikkeld?’*

De kenmerken die het exemplarische leerstofontwerp over het oog uiteindelijk heeft gekregen, vloeiden voort uit de hierboven beschreven visie op onderwijs.

Een eerste aanwijzing voor de bruikbaarheid in de praktijk van het leerstofontwerp betrof het positieve oordeel van de bij de verkenning van het draagvlak voor dit ontwerp betrokken deskundigen uit het onderwijsveld (zie § 4.12).

Om na te gaan of docenten en leerlingen daadwerkelijk goed konden werken met de uitgewerkte probleemtaken en of het oplossen van de problemen de verwachte gunstige effecten op de leerlingen zou hebben, lieten we deze probleemtaken in de praktijk uitproberen. Uit deze empirische toetsing bleek dat de leerlingen duidelijk waren gemotiveerd en dat er sprake was van toename van kennis en inzicht. De toetsing was echter bescheiden van omvang en was niet speciaal gericht op het meten van deze effecten. Daarom bleef nog een aantal vragen open, ter beantwoording waarvan nader onderzoek nodig is.

Zo bleek dat de leerlingen de geïntegreerde problemen met succes oplosten en kregen we aanwijzingen dat er sprake was van toename van kennis en inzicht. Niet bekend is echter of deze bij de leerlingen tot stand kwamen als gevolg van het geïntegreerde karakter van de probleemtaken, door de probleemgestuurde aanpak ervan, door het sterke accent op het door leerlingen zelf uitvoeren van experimenten, doordat functieafwijkingen fungeerden als uitgangspunt, of een combinatie van deze factoren. Omdat de empirische toetsing slechts een deel van het leerstofontwerp betrof, zou in een speciaal op deze aspecten toegesneden onderzoek moeten worden nagegaan of het oplossen van het totaal van de problemen een positief effect heeft op de begripvorming bij leerlingen. Daar integratie van leerstofonderdelen in het leerstofontwerp essentieel is, zou daarbij tevens moeten worden onderzocht of een aanbod van geïntegreerde leerstof begripsontwikkeling bij leerlingen sterker bevordert dan een aanbod via gescheiden vakken.

Voorts bleek uit de empirische toetsing dat het uitwerken van de probleemtaken de leerlingen duidelijk motiveerde en dat dit vooral gold voor de praktische aspecten ervan. Ook ten aanzien van de motivatie van de leerlingen is niet bekend waardoor deze werd gestimuleerd. Naar onze mening dient hiernaar onderzoek te worden gedaan dat is gericht op dezelfde aspecten als we hierboven aangaven bij de begripsontwikkeling.

Het bestaan van - in de literatuur beschreven - misconcepties bij leerlingen op het gebied van de oogfunctie is een remmende factor voor het ontstaan van een goed begrip. Uit de resultaten van de empirische toetsing van de uitgewerkte probleemtaken kregen we enige aanwijzingen dat er sprake was van vermindering van misconcepties. Ons

onderzoek was daar echter niet speciaal op gericht. Onderzocht zou dan ook moeten worden in hoeverre het aanbieden van geïntegreerde probleemtaken uitgaande van functieafwijkingen van het oog, leidt tot het verminderen c.q. opheffen van misconcepties bij leerlingen en of een dergelijke benadering in het algemeen bruikbaar is voor het opheffen van misconcepties.

In de literatuur troffen we ook misconcepties aan betreffende het zogenoemde zichtconcept (zie § 4.6.1 en bijlage 7). Het leerstofontwerp had echter geen betrekking op het zichtconcept. Omdat het waarschijnlijk is dat kennis van het zichtconcept van invloed is op het door leerlingen oplossen van de problemen in de probleemtaken, is onderzoek hiernaar gewenst.

Uit de empirische toetsing bleek verder dat de betreffende docent biologie conform het scenario met de probleemtaken kon werken. Van vakinhoudelijke samenwerking met andere docenten was - door bijzondere omstandigheden (zie § 4.13 en 5.1) - echter geen sprake.

Uit de literatuurstudie kwam naar voren dat de beschikbaarheid van geïntegreerd lesmateriaal docenten stimuleert om vakinhoudelijk te gaan samenwerken en gezamenlijk ook andere leerstof geïntegreerd aan te bieden. Respondenten uit de Delphi-studie verwachtten een positieve invloed van de invoering van het geïntegreerde vak 'Algemene Natuurwetenschappen' op samenwerking tussen docenten. Tevens verwachtten zij dat samenwerking en integratie in de basisvorming een stimulans zullen vormen voor dergelijke activiteiten in de vernieuwde tweede fase voortgezet onderwijs. Geraadpleegde deskundigen van het planniveau verwachtten eveneens dat het toepassen van geïntegreerde probleemtaken een positieve invloed op docenten zal hebben ten aanzien van de intentie tot vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof. Wij veronderstelden deze aspecten wel impliciet, maar vonden geen aanwijzingen dat dit effect inderdaad zal optreden. Zoals we al eerder aangaven was er namelijk geen sprake van vakinhoudelijke samenwerking tussen de bij de empirische toetsing betrokken docent biologie en de docent natuurkunde. Er was dan ook geen mogelijkheid om na te gaan of vakinhoudelijke samenwerking door het aanbieden van geïntegreerde leerstof wordt gestimuleerd. Uit het oogpunt van toetsing was dit een nadeel. Wanneer echter de suggesties voor de overige probleemtaken - na uitwerking - in de klas zullen worden aangeboden, zal naar onze mening - gezien het niveau van de leerstof - vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten biologie en natuurkunde zeker nodig zijn. Ditzelfde geldt voor het aanbieden van andere geïntegreerde leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappen. Het is niet bekend of eenmalige vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen leidt tot verdere samenwerking en tot integratie van andere leerstofonderdelen. Onderzocht zou dan ook moeten worden in hoeverre het werken met lesmateriaal in de vorm van geïntegreerde probleemtaken vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen stimuleert en leidt tot integratie van nieuwe leerstof(onderdelen).

Bij de empirische toetsing kon niet worden nagegaan of het oplossen van de problemen

leidde tot een toenemende mate van zelfstandig leren van de leerlingen. De betrokken leerlingen waren al gewend aan zelfstandig leren en de hun voorgelegde problemen deden nog niet in toenemende mate een beroep op deze vorm van leren of op het door de leerlingen zelf organiseren van hun leren; de voorbeeldmatig uitgewerkte probleemtaken waren immers slechts een eerste aanzet daartoe. We zijn ervan overtuigd dat de suggesties voor probleemtaken zodanig kunnen worden uitgewerkt dat er bij het oplossen van deze taken van de leerlingen inderdaad een toenemende mate van zelfstandig leren wordt gevraagd. Nagegaan zou moeten worden of een dergelijke opzet inderdaad het zelfstandig leren van de leerlingen bevordert.

De uitgewerkte probleemtaken over de oogfunctie zijn gebaseerd op een specifieke aanpak, namelijk functieafwijkingen van het oog als uitgangspunt voor de problemen in combinatie met een sterk accent op het door de leerlingen zelf uitvoeren van experimenten. Nagegaan zou moeten worden of een dergelijke aanpak ook haalbaar is bij andere onderwerpen dan het oog en in dat geval leidt tot begripsontwikkeling bij leerlingen.

De uitgewerkte probleemtaken werden in de praktijk met goed gevolg uitgevoerd door één groep vwo-leerlingen. De 'vertaling' van de probleemgestuurde aanpak vanuit het hoger onderwijs naar het vwo was - althans voor wat betreft deze kleine groep en een beperkt deel van het leerstofontwerp - succesvol. Niet bekend is of eenzelfde aanpak geschikt is voor havo-leerlingen. Onderzocht zou dan ook moeten worden welke aanpassingen noodzakelijk zijn om de probleemtaken en de gehanteerde didactiek ook voor havo-leerlingen geschikt te maken. Dit geldt - naar onze mening - vooral voor het deel van de leerstof uit de suggesties voor probleemtaken (bijlage 11). Overigens valt op dat in het havo-eindexamenprogramma biologie functieafwijkingen van het oog expliciet worden genoemd, terwijl deze in het vwo-examenprogramma biologie niet voorkomen. Daarentegen maken functieafwijkingen van het oog wel deel uit van het vwo-eindexamenprogramma natuurkunde, maar ontbreken ze in het programma voor de havo. Het gegeven dat functieafwijkingen van het oog - zowel voor vwo als voor havo - slechts in één van de natuurwetenschappelijke eindexamenprogramma's worden genoemd, is - naar onze mening - een extra stimulans om de leerstof over het oog geïntegreerd aan te bieden.

Literatuur.

- Abraham, M., Grybowski, E., Renner, J., & Marek, E. (1992). Understandings and misunderstandings of eighth graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 105-120.
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1980). *Understanding attitudes and predicting social behaviour*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- Ajzen, I., & Madden, J.T. (1986). Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions and perceived behavioral control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22, 453-474.
- Andersson, B., & Karrqvist, Ch. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, 5(4), 387-402.
- Annega, O. (1992). Natuuroriëntatie in de basisvorming, niet aan beginnen?! *NVON Maandblad*, 17(4), 156-158.
- Anonymus (1986). Natuur- en milieu-educatie en de natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 17(100), 26-27.
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Ausubel, D.P., Novak, J.D., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive review*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Bak, C.J.M., Van Driem-Prins, E.B.J., Gilissen, L.P.M., Kornet, W., & Schouwsta-Mulder, T.H. (1975). Schoolonderzoek. *Bulletin voor docenten in de biologie*, 6(34), 15-18.
- Baez, A.V. (1976). *Innovation in science education-worldwide*. Paris: The Unesco Press.
- Barras, R. (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. *Journal of Biological Education*, 18, 201-206.
- Bastiaansen, P.A.C.M., & Robbroeckx, L.M.H. (1994). Kenmerken en toepassingen van de Delphi-methode als onderzoekstechniek. *Tijdschrift voor orthopedagogiek*, 33, 284-294.
- Beefink, C., Koetsier, C.P., & Voogt, P.A. (1994). *Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen. Verslag van de resultaten van vraagronde-1 van een Delphi-studie*. Utrecht: Universiteit Utrecht, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Vakgroep Didactiek van de Biologie.
- Beefink, C., Koetsier, C.P., & Voogt, P.A. (1995). *Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen. Verslag van de resultaten van vraagronde-2 van een Delphi-studie*. Utrecht: Universiteit Utrecht, Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Vakgroep Didactiek van de Biologie.
- Beefink, C., Oosterink, J.G., & Oosterink-bij de Vaate, I.M. (1996). Oog, oogheekunde, ontwikkelingssamenwerking. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 27(163), 126-132.
- Beek, B. van (1993a). NME in de kerndoelen basisvorming. *BASISinformatie NME/VO, Katern natuurwetenschappen*.
- Beek, B. van (1993b). NME in de kerndoelen basisvorming. *BASISinformatie NME/VO, katern geschiedenis en staatsinrichting*.
- Bernards, J.A., & Bouman, L.N. (1988). *Fysiologie van de mens*. Houten/Antwerpen: Bohn, Stafleu, Van Loghum.
- Berthalanffy, L. von (1962). General system theory. A critical review. *General systems yearbook*, 7, 1-20.
- Biezeveld, H., & Mathot, L. (1990). *Scoop natuurkunde voor de bovenbouw 4/5 vwo*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Bloem, M.W., Schrijver, J., & Schreurs, W.H.P. (1989). Vitamine A-deficiëntie, anemie en infectieziekten. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 133(18), 920-923.
- Blum, A. (1973). Towards a rationale for integrated science teaching. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. II* (pp. 29-51). Paris: Unesco.
- Boekaerts, M. (1982). *Onderwijsleerprocessen organiseren: hoe doe je dat?* Nijmegen: Dekker & Van de Vegt.

- Boekaerts, M., & Simons, P.R.J. (1993). *Leren en instructie. Psychologie van de leerling en het leerproces*. Assen: Dekker & Van de Vegt.
- Boersma, K.Th., Kievit, R.J. de, & Pilgrim, P.M. (1990). Reflections on the development of integrated science teaching. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 26-41). Paris: Unesco.
- Bollen, R. (1995). *Vernieuwen in de tweede fase. Opbrengsten uit een netwerk*. Utrecht: APS.
- Boogaard, J., & Vos, J.J. (1989). Kleuren onderscheiden en herkennen. In J.J.Vos & Ch.P. Legein (Red.), *Oog en werk, een ergoïtalmologische wegwijzer* (pp. 40-45). 's-Gravenhage: SDU uitgeverij.
- Bonnstetter, R.J. (1990). Teacher behaviours which facilitate integrated science teaching. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 61-68). Paris: Unesco.
- Bouwens, R.E.A. (1988). *Begripsontwikkeling in de optica* (Verslag van een afstudeeropdracht). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit der Technische Natuurkunde, Vakgroep Didactiek Natuurkunde.
- Bouwens, R.E.A., & Verkerk, G. (1988). Inventarisatie van misconcepties in de optica. *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen*, 6(2), 83-98.
- Bouwens, R.E.A., & Verkerk, G. (1989). De inrichting van een optica-curriculum, uitgaande van misconcepties. *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen*, 7(1), 27-45.
- Brandhof, C. van den, Capel, W.H., Gee, A.L.W. de, & Steen, J.C. van der (1955a). Rapport van de commissie inzake het onderwijs in natuurwetenschappen in gymnasium 5 α en op de M.M.S. *Vakblad voor biologen*, 35(11), 180-188.
- Brandhof, C. van den, Capel, W.H., Gee, A.L.W. de, & Steen, J.C. van der (1955b). Rapport van de commissie inzake het onderwijs in natuurwetenschappen in gymnasium V α en op de M.M.S (vervolg). *Vakblad voor biologen*, 35(12), 201-206.
- Brinke, J.S. ten (1984). *Case-study-project voor onderwijs in breed heterogene groepen in het vigerend onderwijs*. ORD-paper, Tilburg.
- Brouwer, G. (1963). Meer begrip voor en beter inzicht in biologie. *Vakblad voor biologen*, 43(1), 1-10.
- Brown, J.S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-41.
- Brunsting, A.M.H. (1989). Het project NME-VO. Het lespakket Waterland. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 20(122), 206-209.
- Bruyn, S.T. (1966). *The human perspective in sociology*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Buddingh', J. (1997). *Regulatie en homeostase als onderwijsthema: een biologie-didactisch onderzoek*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD- β Press.
- Carelsen, F., & Bax, A. (1994). 'Bovenbouw scheikunde'. *NVOX*, 19(9), 433-435.
- Carlsen, W.S. (1991). Effects of new biology teachers' subject matter knowledge on curricular planning. *Science Education*, 75(6), 631-647.
- Cerovsky, J. (1973). Environmental education as an integrating concept in science teaching. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. II* (pp. 127-141). Paris: Unesco.
- Champagne, A.B., & Cornbleth, C. (1991). Interdisciplinary approaches to science education: a cognitive analysis. *Educational Resources Information Center (ERIC)*, ED349157.
- Chisman, D.G. (Ed.) (1990a). *New trends in integrated science teaching: Vol. VI*. Paris: Unesco.
- Chisman, D.G. (1990b). What is integrated science teaching: Its beginning and its place today. In D.G.Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 13-17). Paris: Unesco.
- Cingel, N.A. van der, & Kramer, J.H. (1976). Onderwijsbeleid II. Ruilverkaveling of landschapsinrichting? *Bulletin voor docenten in de biologie*, 7(40), 59-60.
- Cingel, N. van der, & Yoong, C.S. (1979). Education of teachers for integrated science. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 87-99). Paris: Unesco.
- Clement, J. (1982). Students preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.

- Cohen, D. (Ed.) (1977a). *New trends in integrated science teaching: Vol. IV*. Paris: Unesco.
- Cohen, D. (1977b). Evaluation in integrated science teaching - an introduction. In D. Cohen (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. IV* (pp. 9-15). Paris: Unesco.
- Collins, A., Brown, J.S., & Newman, S.E. (1985). Cognitive apprenticeship: teaching the crafts of reading, writing and mathematics. In: Resnick (Ed), *Knowing, learning and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cos, J., & Schouwstra, T.H. (1990). *Ervaringen met een open praktisch schoolonderzoek*. In C.R.M. Koopman (Red.), *Biologie in practicum en praktijk. Het handelingsdeel* (pp. 74-84). Amsterdam: Algemene Hogeschool Amsterdam, Faculteit Onderwijs en Opvoeding.
- Créton, H.A., & Wubbels, Th. (1984). *Ordeproblemen bij beginnende leraren*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: WCC.
- Cuban, L. (1990). Reforming again, again, and again. *Educational researcher*, 19, 3-13.
- Daems, M., & Zande P. van der (1989a). *Voortgezet onderwijs: werkveld voor het NME netwerk*. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht/Project NME-VO.
- Daems, M., & Zande P. van der (1989b). *Nascholingskatern NME-VO*. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht/Project NME-VO.
- Daems, M., & Vries, O. de (1989). *Aan de slag met NME*. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht/Project NME-VO.
- Dam, C.S.P. van (1983). Natuuronderwijs: wat is dat precies? *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 14(85), 163-166.
- D'Ambrosio, U. (1979). The relationship of integrated science to other subjects in the curriculum. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 27-34). Paris: Unesco.
- d'Arbon, J.A. (1972). *A study of the concept of integration of science subjects in secondary schools*. Unpublished thesis presented as partial requirement for the degree of master of science. North Ryde, N.S.W.: Macquarie University.
- Dassen, M.H.E. (1978). Problemen in het biologie-onderwijs. *Bulletin voor docenten in de biologie*, 9(57), 432-434.
- Demuth, R. (1999). Fachübergreifender/fächerverbindender Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften*, 48(2), 1.
- DeRosa, D.A., & Wolfe, B.L. (1999). Mystery of the crooked cell. An investigation & laboratory activity about sickle-cell anemia. *The American Biology Teacher*, 61(2), 137-148.
- Dolmans, D., & Snellen-Balendong, H. (1995). *Constructie van taken: gestuurd medisch onderwijs*. Maastricht: Rijksuniversiteit Limburg, Vakgroep Onderwijsontwikkeling en -research.
- Dolmans, D., Wolfhagen, H.A.P., Vleuten, C.P.M. van der, & Wijnen, W.H.F.W. (1997). Wanneer is onderwijs studentgecentreerd? Inzichten met betrekking tot leren. *Medisch Contact*, 52(29), 1045-1047.
- Dolné, R. (1975). Biologieonderwijs en de leerling in de brugklas. *Bulletin voor docenten in de biologie*, 6(39), 292-298.
- Dolné, R. (1977). *Projektonderwijs*. Leiden: Stafleu & Zn.
- Duke-Elder, S. (1970). *Parsons' Diseases of the eye*. Churchill: London.
- Dijk, F.A. van, & Frings, J.F.J. (1983). Enkele visies op natuuronderwijs. *Natuuronderwijs en de belevingswereld van de leraar. Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 14(85), 161-162.
- Dyasi, H. (1979). Future developments in integrated science education in relation to environmental education. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp.111-117). Paris: Unesco.
- Eijck, C. van (1994). Les in natuurwetenschap. *NVOX*, 19(6), 212-214.
- Eijck, C. van (1995). Lessen in beweging. Les 1: Beweging is overal. Les 2: Voortbewegen. *NVOX*, 20(5), 211-212.
- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1995a). Lessen in beweging. Les 3: Hoe groot zijn de krachten. *NVOX*, 20(8), 392-393.

- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1995b). Lessen in beweging. Les 4: Energie uit voedsel. *NVOX*, 20(9), 438-439.
- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1995c). Lessen in beweging. Les 5: Spijsvertering. *NVOX*, 20(10), 484-486.
- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1996a). Lessen in beweging. Les 6: Aanvoer en afvoer. *NVOX*, 21(2), 58-60.
- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1996b). Lessen in beweging. Les 7: Over energie gesproken. *NVOX*, 21(3), 106-107.
- Eijck, C. van, & Mijzen, P. (1996c). Lessen in beweging. Les 8: Sport is goed voor de gezondheid. *NVOX*, 21(5), 204-206.
- Eisen, Y., & Stacy, R. (1992). Material cycles in nature: A new approach to teaching photosynthesis in Junior High School. *American Biology Teacher*, 54(6), 339-342.
- Eijkelhof, H.M.C. (1990). *Radiation at risk in physics education*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD-β Press.
- Euler, M. (1982). *Physikunterricht, Anspruch und Realität*. Frankfurt: Lang.
- Everdingen, J.J.E., Klazinga, N.S., & Pols, J. (1992). *Pinkhof-Hilfman Geneeskundig woordenboek*. Bohn, Stafleu, Van Loghum: Houten/Zaventem.
- Fensham, P., & Harlow, D.W. (1974). New approaches to the preparation and in-service training of teachers of integrated science, including the teacher as an evaluator of student learning. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. III* (pp. 75-89). Paris: Unesco.
- Fisher, K., & Lipson, J. (1986). Twenty questions about student errors. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 783-803.
- Fockens, F.H., & Voogt, P.A. (1997a). Waarom zwanen zo'n lange hals hebben. *NVOX*, 22(6), 264-270.
- Fockens, F.H., & Voogt, P.A. (1997b). Dient de sierlijkheid van de zwaan alleen om de mens te bekoren? *NVOX*, 22(7), 346-351.
- Fockens, F.H., & Voogt, P.A. (1999). De kat, de sprong en toen ... *NVOX*, 24(2), 57-61.
- Foecke, H.A. (1974). The education of teachers of integrated science: some basic questions and proposed answers. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. III* (pp. 1-13). Paris: Unesco.
- Foeken, F. (1998). Prototype van een profielwerkstuk. Het meten van de viscositeit van bloed met behulp van IP-COACH. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 28(174), 117-119.
- Frings, J.F.J. (1979). Werkgroep 'Doelstellingen'. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 10(63), 503.
- Genseberger, R.J. (1989a). Natuurhistorische oriëntatie, een gemeenschappelijk aanbod van scheikunde, biologie en natuurkunde voor 15-16 jarigen. *Tijdschrift voor didactiek der β-wetenschappen*, 7(2), 138-153.
- Genseberger, R.J. (1989b). Het ontwikkelen van een model-begrip bij leerlingen van 15-16 jaar. *Tijdschrift voor didactiek der β-wetenschappen*, 7(3), 192-208.
- Genseberger, R.J. (1997). *Interesse-georiënteerd natuur- en scheikundeonderwijs. Een studie naar onderwijsontwikkeling op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD-β Press.
- Goodlad, J.I. (1974). Integrated science, teacher education and the improvement of schooling. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. III* (pp. 111-120). Paris: Unesco.
- Grave, W.S. de, Schmidt, H.G., Belien, J.J., Moust, J.H.C., Volder, M.L. de, & Kerkhofs, L.M.M. (1984). *Effecten van verschillende typen van activatie van voorkennis op recall, gemeten met een aanvulttoets*. Paper gepresenteerd op de Onderwijs Research Dagen. Tilburg.
- Grossman, P.L., & Stodolsky, S.S. (1995). Content as context. The role of school subjects in secondary school teaching. *Educational Researcher*, 24(8), 5-11, 23.
- Gruijter, J. de (1998). Het profielwerkstuk: begeleiden van leerlingen in de keuze van de onderzoeksvraag. *NVOX*, 23(7), 363-366.

- Grüsser, O.J. (1976). Gesichtssinn und Oculomotorik. In R.F Schmidt & G Thews (Eds.), *Physiologie des Menschen* (pp. 261-264). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Guba, E.G. (1978). *Toward a methodology of naturalistic inquiry in educational evaluation*. Los Angeles: Center for the study of evaluation, University of California.
- Guesne, E. (1984). Die Vorstellungen von Kindern über Licht. *Physica Didactica*, 11(11), 79-98.
- Guilfoile, P. (1999). Two case studies in the scientific method. Antisense experiments & HIV vaccination studies. *The American Biology Teacher*, 61(4), 259-263.
- Gunstone, R. (1987). Student understanding in mechanics: a large population survey. *American Journal of Physics*, 55, 691-696.
- Guyton, E., & McIntyre, D.J. (1990). Student teaching and school experiences. In W.R. Houston, M. Haberman & J. Sikula (Eds.), *Handbook of research on teacher education* (pp.514-534). New York: MacMillan.
- Haitink, A. (1996). Teamleren in de opleiding. *IVLOS-VAST Tijdschrift voor schoolpracticumdocenten en lerarenopleiders van het IVLOS*, 2(4), 8-13.
- Haney, J.J., Czerniak, C.M., & Lumpe, A.T. (1996). Teacher beliefs and intentions regarding the implementation of science education reform strands. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 971-993.
- Hashweh, M.Z. (1987). Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. *Teaching & Teacher Education*, 3(2), 109-120.
- Herr, L.G. (1971). Unified Science: A Solution to Physics Enrolment. *The Physics Teacher*, 9, 248-252.
- Hertog, J. den (1998). Moord in Oegstgeest. 'Forensics', interdisciplinair onderzoeksproject op het 'International Baccalaureate'. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 29(175), 147-149.
- Hilten, H. van, & Sieben, H. (1986). Milieu-educatie in het middelbaar onderwijs. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 17(105), 339-342.
- HKEA (1996). *Hong Kong Certificate of Education Examination Annual Report: Biology*. Hong Kong: Examination Authority.
- Hofstein, A. (1979). Future developments in integrated science education in relation to technological studies. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp.111-117). Paris: Unesco.
- Hogendoorn, M. (1991). *Communicatie-onderzoek*. Muiderberg: Coutinho.
- Holman, J. (1990). The integration of science teaching through science-technology-society courses. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 48-52). Paris: Unesco.
- Hollwich F. (1989). *Leerboek Oogheelkunde*, Bohn, Scheltema en Holkema: Utrecht/Antwerpen.
- Holstein, J.A., & Gubrium, J.F. (1995). *Qualitative research methods series 37: The active interview*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Hooymayers, H.P. (Red.). (1997). *Eindproduct van de CD- β visiegroep*. Utrecht: Centrum voor β -Didactiek Universiteit Utrecht (interne publicatie).
- Houten, H. van, & Zee, H. van der (1980). Delphi - van orakel tot wetenschap. In R. De Hoog, H. Stroomberg & H. Van der Zee (Red.). *Veranderen door onderzoek* (pp. 193-213). Meppel: Boom.
- Hoz, R., Tomer, Y., & Tamir, P. (1990). The relations between disciplinary and pedagogical knowledge and the length of teaching experience of biology and geography teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 973-985.
- Huhn, B., Koch, R., Schwarze, H., & Wagner, C. (1997). Optische Wahrnehmung, Materialien zum fächerverbindenden Unterricht. *Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 46(7), 29-35.
- IJzendoorn, M.H. van, & Miedema, S. (1986). De kwaliteit van kwalitatief onderzoek. *Pedagogische Studiën*, 63, 498-505.
- Imelman, J.D., & Meijer, W.A.J. (1986). *De nieuwe school, gisteren en vandaag*. Amsterdam: Elsevier.

- Jacobson, W.J. (1971). Integrated science programs for schools and colleges. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 67-79). Paris: Unesco.
- Jager, J. de (1979). Veldbiologie in combinatie met andere vakken. Een samenwerking tussen biologie en scheikunde in de bovenbouw havo en vwo. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 8(59), 171-174.
- Janssen, F.J.J.M., & Voogt, P.A. (1995). Ontwerpend leren in het immunologie-onderwijs. *NVOX*, 20(9), 420-424.
- Janssen, F.J.J.M., & Voogt, P.A. (1996). Ontwerpend leren in het biologie-onderwijs. *NVOX*, 21(2), 42-47.
- Janssens, F.J.G. (1985). 'Ogen' doen onderzoek. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Jong, P.T.V.M. de (1985). Toepassingen van laserlicht in de oogheelkunde. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 129(50), 2399-2403.
- Jong, P.T.V.M. de (1996). Oogziekten. In E. Eyskens, e.a. (Red.), *Codex Medicus* (pp. 552-553). Arnhem: Koninklijke PBNA bv.
- Jung, W. (1981). Erhebungen zu Schülervorstellungen in Optik. *Physica Didactica*, 8(9), 19-34.
- Kerr, J.F. (1971). Science teaching and social change. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 337-345). Paris: Unesco.
- Keuchenius, F.D. (1974). Veel tijd voor biologie op school. *Bulletin voor docenten in de biologie*, 5(32), 200-201.
- Kievit, R. de (1987). Milieu-educatie in samenspel. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 18(109), 166-167.
- Kievit, R. de (1988). Natuuronderwijs is in de basisvorming realiseerbaar. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 19(115), 156-159.
- Klaassen, C.W.J.M. (1995). *A problem-posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Ph.D. Thesis, University of Utrecht. Utrecht: CD-β Press.
- Kleef, M.L. van (1983). Enkele visies op natuuronderwijs. Kindgericht onderwijs vraagt om integratie van natuurwetenschappen. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 14(85), 159-161.
- Koballa, T.R. (1988). Attitude and related concepts in science education. *Science Education*, 72(2), 115-126.
- Koetsier, C.P., & Brinke, J.S. ten (1985). *Onderzoeksvragen met hoge veldlegitimatie op het gebied van de lerarenopleiding (in het bijzonder de universitaire)*. Utrecht: WCC.
- Koetsier, C.P. (1991). *Een brug tussen opleiding en praktijk. Een studie over de individuele eindstage als brug tussen lerarenopleiding en praktijk*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: WCC.
- Kooiker, S.E., & Mootz, M. (1996). *Patiënt en professie, culturele determinanten van medische consumptie*. Rijswijk: Sociaal en Cultureel Planbureau.
- Koopmans, F.G. (1976). De toepassing van actie-onderzoek. *Intermediair*, 12(7), 5 e.v.
- Kreutzer, H.H. (1951). Biologie op het α-Gymnasium. *Vakblad voor biologen*, 31(5), 90-92.
- Kroft, G. Van der (1997). Profielwerkstuk: weg naar de meesterproef. *PMV-journaal*, 15, 17-18.
- Kuhn, W. (1997). 'Lernbereich Naturwissenschaften', ein Trojanisches Pferd? *Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 46(7), 2-5.
- Lagerweij, N.A.J. (1982). *Werken aan ander onderwijs*. Oratie Universiteit Utrecht. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Lambert, E. (1979). Towards the implementation of integrated science at the secondary level. In J.Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 69-75). Paris: Unesco.
- Landelijke Pedagogische Centra (1994). *Biologie voor jou*, 6V. Den Bosch: Malmberg.
- Lesiuk, N.M., & Drewes, C.D. (1999). Blackworms, blood vessel pulsations & drug effect. *The American Biology Teacher*, 61(1), 48-53.
- Lewis, L.J. (1971). The learning process and the teaching of science and mathematics. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 346-358). Paris: Unesco.
- Lewis, J. (1979). Science in society. In J.Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 153-160). Paris: Unesco.

- Limburg, H. (1992). Blindheidsbestrijding in ontwikkelingslanden. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 136(29), 1419.
- Linstone, H.A., & Turoff, M. (Eds.). (1975). *The Delphi Method. Techniques and applications*. Cambridge, MA: Addison-Wesley.
- Little, J. (1990). The persistence of privacy. Autonomy and initiative in teachers' professional relations. *Teachers College Record*, 91(4), 509-536.
- Lockard, J.D. (Ed.) (1980). *Unesco handbook for science teachers*. Paris/London: Unesco/Heinemann.
- Lodewijks, J.G.L.C. (1993). *De kick van het kunnen, over arrangement en engagement bij het leren* (Inaugurele rede). Nijmegen: Katholieke Universiteit.
- Loo, F. van der, & Pieters, M. (1989). Natuur- en milieu-educatie in lesmateriaal. *NVON Maandblad*, 14(6), 238-242.
- Lijnse, P.L. (1995). Natuurkunde-didactisch onderzoek: de moeite waard? *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 13(3), 147-164.
- Lijnse, P.L., & Klaassen, C.W.J.M. (1995). Over het interpreteren van leraar- en leerlinguitspraken in natuurwetenschappelijk onderwijs. *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen*, 13(1), 38-63.
- Maas Geesteranus, C. (1990). De springplank. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 21(124), 26-28.
- Maassen, P.A.M., & Vught, F.A. van (1984). Delphi-onderzoek voor het hoger onderwijsbeleid. *Tijdschrift voor Hoger Onderwijs*, 2(3), 82-98.
- Machiels-Bongaerts, M., & Schmidt, H. (1990). Effectiever leren door het activeren van voorkennis. *IDEE Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 11(3), 99-101.
- Manschot, M. (1993). Verzorging. Wat houdt het in? *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 24(142), 31-34.
- Maso, I. (1989). *Kwalitatief onderzoek*. Meppel/Amsterdam: Boom.
- Maturana, H.F., & Varela, F.J. (1987). *The tree of knowledge*. Boston: Shambhela.
- Matyas, M. (1973). The role of the ICSU Committee in the teaching of science. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. II* (pp. 11-12). Paris: Unesco.
- Mc-Daniël, O.C. (1984). Repliek: de Delphi-onderzoeksmethode een beleidsondersteunende onderzoeksvorm? *Tijdschrift voor Hoger Onderwijs*, 2(4), 132-138.
- Middelink, J.W. (1990). *Systematische natuurkunde voor bovenbouw vwo A*. Apeldoorn: Van Walraven.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1963). *Wet op het voortgezet onderwijs*. Den Haag: SDU.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1991). *Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs*. Den Haag: SDU.
- Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen (1992). *Profiel van de tweede fase voortgezet onderwijs, vervolgnota*. Den Haag: SDU.
- Morélis, H. (1988). Het profielwerkstuk. *NVOX*, 23(2), 63-65.
- Morton, I. (1993). *Teacher collaboration in Secondary Schools. Centerfocus number 2*. Berkeley, CA: National Center for Research in Vocational Education.
- Moust, J.H.C., & Schmidt, H.G. (1995). Probleemgestuurd leren: een krachtige leeromgeving. *VELON Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 16(4), 40-55.
- Mijzen, P. (1993). Natuuronderwijs in de basisvorming. *NVON Maandblad*, 18(3), 90-93.
- Morgan, D.L. (1988). *Qualitative research methods series 16: Focus group as qualitative research*. Newbury Park: Sage Publications.
- Myers, D.G. (1980). Faith and action: A seamless tapestry. *Christianity Today*, 24, 16-18.
- Myers, D.G. (1987a). *Social Psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Myers, D.G. (1987b). Yin and Yang in psychological research and Christian belief. *Perspectives on Science and Christian Faith*, 39, 128-139.

- Noordwijk-van Veen, J.C. van (1975). 'Onderwijsbeleid'. *Bulletin voor docenten in de biologie*, 6(39), 314-315.
- Norren, D. van (1996). Geen licht zonder schaduw, schadelijke effecten van optische straling. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 27(163), 148-152.
- Oers, B. Van (1993). *Cultuuroverdracht als reconstruerende activiteit*. Paper gepresenteerd tijdens de Onderwijsresearchdagen 1994 te Utrecht.
- Oosterhuis, J. (1953). General science. *Vakblad voor biologen*, 33(2), 22-23.
- Oosterhuis, J.A. (1994). Correctie van refractieafwijkingen met lasers. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 138(19), 943-944.
- Os, M. van (1994). Samenhang en schoolpraktijk: Naar meer samenhang in de basisvorming. In A. Wenke, e.a. (Red.), *Basisvorming in de praktijk*, 7, 4522, 1-14. Alphen a/d Rijn: Samson/Tjeenk Willink.
- Os, M. van (1995). Samenhang natuur- en scheikunde. In A. Wenke, e.a. (Red.), *Basisvorming in de praktijk*, 10, 4526, 1-7. Alphen a/d Rijn: Samson/Tjeenk Willink.
- Oskamp, A.A.G., Bekkem, A.W.H. van, & Groeman, J.F. (1990). *Kreutzer Biologie voor bovenbouw vwo 5V*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Parreren, C.F. van (1970a). *Leren op school* (7e druk). Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Parreren, C.F. van (1970b). *Psychologie van het leren-II* (3e druk). Deventer: Van Loghum Slaterus.
- Parreren, C.F. van (1991). *Ontwikkeland onderwijs* (5e druk). Leuven/Amersfoort: Acco.
- Pelt, E.J. van (1994). De dramatiek van de cholera. Beschrijving van het Databaas-programma van T. Sliphorst voor het vak geschiedenis 'De blauwe dood'. *Magazine voor basisvorming*, 8(1), 31-32.
- Penick, J.E. (1990). Exemplary integrated elementary science programmes in the United States. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp.136-143). Paris: Unesco.
- Penick, J.E., & Bonnstetter, R.J. (1990). Integrated science teaching needs integrated science teacher education. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 69-74). Paris: Unesco.
- Pfeiffer, C.H. (1969). *The development and implementation of a four-year unified concept-centered science curriculum for secondary schools, final report*. Eric document: ED054965.
- Pieters, M. (1990). *Kernleerplan natuur- en milieu-educatie*. Enschede: SLO.
- Raw, I. (1979). Developments in integrated science education in relation to nutrition and health education. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp.111-117). Paris: Unesco.
- Reay, J. (Ed.) (1979). *New trends in integrated science teaching: Vol. V*. Paris: Unesco.
- Reezicht, G.J., Boer, P.R. den, & Harms, G.J. (1996). *Samenwerking tussen leraren in het Voortgezet Onderwijs*. Groningen: GION.
- Reiding, J., Franken, P.W., & Kabel-Van den Brand, M.A.W. (1993). *Chemie overal 5V*. Culemborg: Educatieve Partners Nederland.
- Reiding, J., Franken, P.W., & Kabel-Van den Brand, M.A.W. (1994) *Chemie overal 6V*. Culemborg: Educatieve Partners Nederland.
- Reinders, E., & Hendriks, J. (1989). Milieu-educatie in natuuronderwijs. *NVON Maandblad*, 14(7), 284-286.
- Resnick, L. (1987). Learning in school and out. *Educational Researcher*, 16(9), 13-19.
- Reygel, P.C.F. (1997). *Het thema 'reproductie' in het schoolvak biologie. Biologiedidactisch onderzoek van de vakdisciplinaire en maatschappelijke relevantie*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD-β Press.

- Richardson, J.S., & Showalter, V. (1967). Effects of a unified science curriculum on high school graduates. The Ohio State University Research Foundation, Columbus. Reported by H.A. Smith in D. G. Hays (Ed.) (1969), *Britannica Review of American Education: Vol. I*. Chicago: William Benton, Publishers.
- Richmond, P.E. (Ed.) (1971). *New trends in integrated science teaching: Vol. I*. Paris: Unesco.
- Richmond, P.E. (Ed.) (1973). *New trends in integrated science teaching: Vol. II*. Paris: Unesco.
- Richmond, P.E. (Ed.) (1974). *New trends in integrated science teaching: Vol. III*. Paris: Unesco.
- Roebertsen, H. (1996). *Integratie en toepassing van biologische kennis. Ontwikkeling en onderzoek van een curriculum rond het thema 'lichaamsprocessen en vergift'*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD-β Press.
- Roelofs, E.C., Franssen, H., & Grootcholten, J. (1996). *Toepassingsgerichtheid en authentiek leren na één jaar basisvorming*. Utrecht: ISOR/Onderwijsonderzoek, Universiteit Utrecht.
- Rosa, C. la, Mayer, M., Patrizi, P., & Vincentine-Missoni, M. (1984). Commonsense knowledge in optics. *European Journal of Science Education*, 6(4), 387-397.
- Rutherford, J. (1971). Harvard project physics: An integrated science course. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 290-293). Paris: Unesco.
- Rutherford, J., & Gardner, M. (1971). Integrated science teaching. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 47-55). Paris: Unesco.
- Sanders, M. (1993). Erroneous ideas about respiration: the teacher factor. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 919-934.
- Schermer, A.K.F. (1991). *Implementatie van een onderwijsvernieuwing*. Amsterdam: Algemeen Pedagogisch Studiecentrum.
- Schmidt, H.G. (1984). Activatie van voorkennis en tekstverwerking. *Nederlands tijdschrift voor de psychologie*, 39, 335-347.
- Schmidt, H.G. (1993). Foundations of problem-based learning: Some explanatory notes. *Medical Education*, 27, 422-433.
- Schmidt, H.G., Volder, M.L. de, Grave, W.S. de, Moust, J.H.C., & Patel, V.L. (1989). Explanatory models in processing of science text: The role of prior knowledge activation through small-group discussion. *Journal of Educational Psychology*, 81(4), 610-619.
- Schmidt, H.G., & Gyselaers, W.H. (1990). *Causal modelling of problem-based learning*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Boston, M.A.
- Schmidt, H.G., & Moust, J.H.C. (1996). Construeren van probleemtaken voor probleemgestuurd leren. *VELON Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 17(3), 5-17.
- Schmitz, M., & Hufmann, M. (1997). Wetter und Jahresrhythmus am Beispiel Winter. *Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 46(7), 10-13.
- Schouteten, C., & Kiers, N. (1995). Auto en milieu. *NVOX*, 20(6), 252-256.
- Schüssler, E. (1996). De wonderbaarlijke terugkeer van de vakkenintegratie. *Didactief*, 26(1), 29-31.
- Schwarze, H. (1997). Fächerübergreifend, fächerverbindend, Fortschritt mit Niveau? *Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 46(7), 1.
- Showalter, V. (1971). Unification of the curriculum. In L. C. Deighton (Ed.), *Encyclopedia of Education: Vol. 8*. New York: Macmillan & Co.
- Showalter, V. (1974). Desirable characteristics of teachers of integrated science. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. III* (pp. 20-25). Paris: Unesco.
- Shrigley, R.L. (1990). Attitude and behaviour are correlates. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(2), 97-113.
- Shuell, T.J. (1986). Cognitive conceptions of learning. *Review of Educational Research*, 56(4), 411-436.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Sikkema, J.L. (1986). Het torsie-oog. *NVO Maandblad*, 11(8/9), 17.

- Sikkema, J.L. (1987). Nogmaals het torsie-oog. *NVON Maandblad*, 12(5), 193-194.
- Sikkema, J.L. (1989). Antiquiteiten en continuïteit. *NVON Maandblad*, 14(10), 452-453.
- Sikkema, J.L. (1991). Biodidactische reductie en radiatie. *NVON Maandblad*, 16(5), 182-183.
- Silber, R. (1979). Science education for society. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 161-164). Paris: Unesco.
- Simons, P.R.J. (1990). *Transfervermogen*. Inaugurele rede. Nijmegen: Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Slesnick, I.L. (1963). The effectiveness of a unified science in the high school curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(3), 302-314.
- SLO (1996a). *Voorlichtingsbrochure havo/vwo, actuele stand van zaken invoering tweede fase: Biologie*. Enschede: SLO.
- SLO (1996b). *Voorlichtingsbrochure havo/vwo, actuele stand van zaken invoering tweede fase: Natuurkunde*. Enschede: SLO.
- SLO (1996c). *Voorlichtingsbrochure havo/vwo, actuele stand van zaken invoering tweede fase: Scheikunde*. Enschede: SLO.
- Snellen-Balendong, H.A.M., Wijnen, W.H.F.W., & Langevoort, H.L. (1994). Diversiteit van medische curricula in Nederland. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*, 138(22), 1136-1142.
- Soontiens, F.J.K. (1990). Biologie en teleologie. *Kennis en methode*, 14, 166-182.
- Spice, J.E. (1971). The Nuffield physical science course. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. I* (pp. 277-283). Paris: Unesco.
- Steenbakkers, G. (1992). Milieu-educatie verdient meer aandacht. *Magazine voor basisvorming*, 6(4), 26-27.
- Stilma, J.S., Franken, S., Hogeweg, M., & Hardus, P., (1992). Blindheidsbestrijding in ontwikkelingslanden. *Ned. Tijdschrift voor Geneeskunde*, 136(13), 619-623.
- Stilma, J.S., & Voorn, Th.B. (1993). *Praktische oogheelkunde*. Houten/Diegem: Bohn, Stafleu, Van Loghum.
- Storey, R. (1990). Textbook errors and misconceptions in biology: photosynthesis. *The American Biology Teacher*, 52, 213-218.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1994a). *Scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs. Een uitwerking op hoofdlijnen van de nota's profiel van de tweede fase van het voortgezet onderwijs*. Den Haag.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1994b). *De tweede fase vernieuwt. Scharnier tussen basisvorming en hoger onderwijs, deel 2*. Den Haag.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1995a). *Advies examenprogramma's havo/vwo, biologie, natuurkunde, scheikunde*. Enschede: SLO.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1995b). *Advies examenprogramma's havo en vwo algemene natuurwetenschappen*. Enschede: SLO.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1995c). *Examen in het studiehuis. Een advies voor een examenregeling in het vernieuwde havo en vwo*. Den Haag.
- Stuurgroep Profiel Tweede Fase Voortgezet Onderwijs (1996). *De bibliotheek in het studiehuis*. Den Haag.
- Taylor, C. (1979). A scientist's view of the Nijmegen Conference. In J. Reay (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. V* (pp. 9-11). Paris: Unesco.
- Terwel, J. (1984). *Onderwijs maken*. 's-Gravenhage: SVO.
- Thier, H.D. (1973). Content and approaches of integrated science programs at the primary and secondary school levels. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. II* (pp. 53-68). Paris: Unesco.
- Thier, H. (1974). The aims and objectives of teacher education for integrated science including characteristics and competences of the integrated science teacher. In P.E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. III* (pp. 26-31). Paris: Unesco.

- Tiddens, H.A., Willighagen, R.G.J., & Wijnen, W.H.F.W. (1975). Medisch onderwijs in ontwikkeling. Studiejaar 1974-1975 Medische Faculteit Maastricht. *Medisch Contact*, 30, 1077-1085.
- Timmermans, P.J.A. (1988). Berichten van de Eindtermencommissie Biologie (I). *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 19(114), 108-109.
- Timmermans, P.J.A. (1990). Van eindtermen naar kerndoelen. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 21(128), 183-184.
- Timmermans, P.J.A. (1991). Nieuwe kerndoelen biologie voor de basisvorming. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 22(135), 251-253.
- Timmermans, P.J.A. (1992). *Concept leerplan algemeen biologie*. Enschede: SLO.
- Timmermans, P.J.A. (1993). *Een leerplan Biologie*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Treitz, N. (1997). Symmetrie, wohin man seht? *Praxis der Naturwissenschaften, Physik*, 46(7), 6-9.
- Trowbridge, D.E., & McDermott, L. (1981). Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 49, 242-253.
- Unesco (1990). A rationale for teaching integrated science. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp.131-132). Paris: Unesco.
- Valk, A.E. van der, Broekman, H.G.B., & Jong, O. de (1998). Concerns van docenten over samenwerking in β -profielteams. *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*, 15(1), 25-41.
- Veen, J. van der (1983 a). Natuuronderwijs op het Twickel-college in Hengelo. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 14(85), 166-171.
- Veen, J. van der (1983 b). Oriëntatie op de natuur, een leergebied op de middenschool in Lelystad. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 14(85), 175-177.
- Veenhoven, J. (1997). *Vaksectie-overstijgende samenwerking in het voortgezet onderwijs: toekomstmuziek of realiteit? Literatuurstudie en exploratief onderzoek naar de wijze waarop docenten samenwerken in vaksectie-overstijgend verband en naar factoren die daarop van invloed zijn*. Utrecht: Universiteit Utrecht, Faculteit Sociale Wetenschappen, Vakgroep Onderwijskunde.
- Verhulst, J. (1994). *Sectie op scherp*. Alphen a/d Rijn: Samson/Tjeenk Willink.
- Veringa, F., Collewyn, H., Hof M.W. van, & Brink, G. van den (1984). Het gezicht. In Voorhoeve, P.E. (Red.), *Leerboek der neurofysiologie* (pp. 336-339). Amsterdam/Brussel: Elsevier.
- Verkerk, G., Broens, J.B., Kranendonk, W., Van der Puyl, F.J., Sikkema, J.L., & Stam, C.W. (1992). *Binas informatieboek vwo-havo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen*. Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Vermunt, J. (1992). *Leerstijlen en sturen van leerprocessen in het hoger onderwijs: naar procesgerichte instructie in zelfstandig denken*. Dissertatie. Katholieke Universiteit Brabant. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Verschuren, M. (1997). *Samenwerking tussen docenten in het voortgezet onderwijs. De sectie en basisvorming*. Doctoraal scriptie. Utrecht: Vakgroep Onderwijskunde.
- Vleuten, C.P.M. van der, & Wijnen, W.H.F.W. (1990). *Problem based learning: perspectives from the Maastricht experience*. Amsterdam: Thesis Publishers.
- Volder, M.L. de, Schmidt, H.G., Grave, W.S. de, & Moust, J.H.C. (1985). Motivation and achievement in cooperative learning: The role of prior knowledge. In J.H.C. van der Berchen & F.Halisch (Eds.), *Achievement and Task Motivation* (pp. 123-127). Berwyn: Swets North America.
- Volder, M.L. de, Schmidt, H.G., Moust, J.H.C., & Grave, W.S. de (1986). Problem-based learning and intrinsic motivation. In J.H.C. van der Berchen, Th.C.M. Bergen & E.E.I. de Bruyn (Eds.), *Achievement and Task Motivation* (pp. 128-134). Berwyn: Swets North America.
- Voogt, P.A. (1989). Behoud van leven. *NVON Maandblad* 4(2), 58-60.
- Voogt, P.A. (1995a). Teleologie en anthropomorfisme in wetenschap en onderwijs. *NVOX*, 20(4), 153-157.

- Voogt, P.A. (1995b). Teleologie en anthropomorfismen in het onderwijs. *NVOX*, 20(6), 277-282.
- Voogt, P.A. (1996). Stofwisseling in homeostatisch perspectief. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 27(164), 171-178.
- Voogt, P.A., & Fockens, F.H. (1996). Riet, onopvallend maar mechanisch meesterwerk. *NVOX*, 21(8), 348-353.
- Voogt, P.A. (1998). Riet: wie kijkt daar nou naar? *NVOX*, (23)7, 381-389.
- Voogt, P.A. (1999a). De kruisspin, bouwmeester bij uitstek. *NVOX*, 24(3), 114-121.
- Voogt, P.A. (1999b). Spinnen en draglines. *NVOX*, 24(4), 185-188.
- Voogt, P.A. (1999c). Spider (wo)man en rag-time. *NVOX*, 24(5), 245-249.
- Voorde, H.H. ten (1990). On teaching and learning about atoms and molecules from a Van Hiele point of view. In P.L. Lijnse, P.Licht, W. De Vos & A.J.Waarlo (Eds.), *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary science education* (pp. 81-103). Utrecht: CD-β Press.
- Vos, J.J., & Legein, C.P. (Red.) (1989). *Oog en werk, een ergofoftalmologische wegwijzer*. 's Gravenhage: SDU.
- Vroonhoven, W. van (1995). Studievaardigheden in de basisvorming. In A. Wenke, e.a. (Red.), *Basisvorming in de praktijk*, 8, 4254-1-7.
- Wagenaar, F. (1993). Biologie en basisvorming. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 24(142), 4-7.
- Welch, W.W. (1977). Evaluation and decision-making in integrated science. In D. Cohen (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. IV* (pp. 26-36). Paris: Unesco.
- Wessum, L. van (1997). *De sectie als eenheid: samenwerking en professionaliteitsopvattingen van docenten in het voortgezet onderwijs*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: ISOR/Onderwijsonderzoek.
- Wester, F. (1987). *Strategieën voor kwalitatief onderzoek*. Muiderberg: Coutinho.
- Wierstra, R.F.A. (1990). *Natuurkunde-onderwijs tussen leefwereld en vakstructuur*. Dissertatie Universiteit Utrecht. Utrecht: CD-β Press.
- Williams, I.W. (1973). Teaching methods in integrated science at the primary and secondary level. In P. E. Richmond (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. II* (pp. 71-88). Paris: Unesco.
- Winter, S.S. (1970). *Science education at the elementary and secondary level in Asia, a survey of status and developments prepared for Unesco in 1970*. Paris: Unesco.
- Woerkum C.J.M. van, & Kuiper, D. (1995). *Voorlichtingskunde, een inleiding*. Houten/Diegem: Bohn, Stafleu, Van Loghum.
- Woolverton, C.J. (1999). Use of veterinary records to teach laboratory thinking skills in biology. *The American Biology Teacher*, 61(6), 444-447.
- Woolverton, C.J., & Liliestadt, J. (1999). Identification & quantitation of bacteria in emergency eyewash bottles used in science laboratories. *The American Biology Teacher*, Vol. 61(5), 372-375.
- Wubbels, Th. (1986). Elementaire begrippen in de geometrische optica: leerlingenvoorstellingen en schoolboekteksten. *Tijdschrift voor didactiek der β-wetenschappen*, 4(1), 19-37.
- Wubbels, Th. (1987). Denkramen van leerlingen op het gebied van de geometrische optica. *Tijdschrift voor didactiek der β-wetenschappen*, 5(1), 44-59.
- Wubbels, Th. (1996). De lerarenopleiding als studiehuis. *VELON Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 17(4), 41-42.
- Wubbels, Th., & Korthagen, F. (1995). 'Leren van de praktijk'. *VELON Tijdschrift voor Lerarenopleiders*, 16(3), 6-13.
- Yager, R.E. (1990). Science, technology, society: Trends in the integration of science education. In D.G. Chisman (Ed.), *New trends in integrated science teaching: Vol. VI* (pp. 44-48). Paris: Unesco.
- Yip, Din-Yan (1998). What's wrong with the eye? *School Science Review*, 79(288), 87-91.

- Zande, P. van der, Jager, H. de, & Brunsting, A.M.H. (1990). Het project NME-VO. Ervaring. *Bulletin voor het onderwijs in de biologie*, 21(126), 84-88.
- Zijlstra, H. (1996). Uitdagingen van het studiehuis voor docenten en consequenties voor de opleidingen. *VELON Tijdschrift voor lerarenopleiders*, 17(4), 44.

Bijlagen

Bijlage 1. Geraadpleegde bronnen

Geraadpleegde literatuurbestanden

De volgende literatuurbestanden zijn gescreend met behulp van trefwoorden.

Automatisch Documentatie- en Informatiesysteem voor Onderwijsliteratuur in Nederland (ADION), 1985-1998.
Documentair Informatiesysteem voor Onderwijsliteratuur in Nederland (DION), 1985-1998.
Educational Resources Information Center (ERIC), 1966-1998.

Geraadpleegde Nederlandstalige tijdschriften

De volgende tijdschriften zijn gescreend op relevante onderwerpen voor deze studie.

Vakblad voor Biologen, jaargang 1919-1989
Biovisie/Vakblad voor Biologen, jaargang 1989-1991
Bionieuws/Vakblad voor Biologen, jaargang 1991-1996
Bulletin voor Docenten in de Biologie, jaargang 1969-1979
Bulletin voor het Onderwijs in de Biologie, jaargang 1979-1998
NVON maandblad, jaargang 1975-1994
NVOX, jaargang 1994-1998
Director, jaargang 1970-1995
VVO magazine, jaargang 1995-1996
NGL-blad, jaargang 1970-1996
Magazine voor de basisvorming, jaargang 1991-1996

Oproepen tijdens bijeenkomsten en in tijdschriften

Oproep tijdens de jaarvergadering van de Vereniging van Schoolleiders bij het Protestants-Christelijk Onderwijs (VSC), 1992.
Oproep tijdens de jaarvergadering van de Algemene Vereniging van Schoolleiders (AVS), 1992.
Oproep tijdens de werkdagen van de Vereniging voor Didactiek van de Biologie (VDB), 1993.
Oproep in Director, maandblad van de Algemene Vereniging van Schoolleiders bij het voortgezet onderwijs, 1993. Director telt ongeveer 2950 abonnees; aannemelijk is dat alle scholen van de doelgroep hiermee worden bereikt.
Oproep in het NVON maandblad, tijdschrift van de Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen, 1993.
Oproep in het Bulletin voor het Onderwijs in de Biologie, tweemaandelijks tijdschrift voor het biologieonderwijs, de natuur- en milieueducatie en het gezondheidsonderwijs, 1993.

Bijlage 2. Vragenlijst-1 ten behoeve van het Delphi-onderzoek

In deze bijlage geven we een overzicht van de vragen die in ronde-1 van het Delphi-onderzoek zijn gesteld. In dit overzicht zijn uit oogpunt van papierbesparing de ruimten voor het beantwoorden van de vragen en voor de toelichting en/of opmerkingen weggelaten.

De vragenlijst bestaat uit twee delen, namelijk: vragen met betrekking tot samenwerking in de huidige praktijk (deel A) en vragen met betrekking tot samenwerking in een toekomstige praktijk (deel B). De vragen zijn deels geformuleerd in de vorm van open vragen en deels in de vorm van stellingen met een vijfpuntsschaal (zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens).

Deel A: Samenwerking in huidige praktijk

Op basis van de uitkomsten van een literatuurverkenning, een mondelinge enquête tijdens een jaarvergadering van de Algemene Vereniging van Schoolleiders en oproepen in vakbladen hebben we het vermoeden dat in de huidige praktijk vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de biologie en docenten in de overige natuurwetenschappen in de bovenbouw van VWO en HAVO van het voortgezet onderwijs niet of nauwelijks voorkomt.

Een reden daarvoor kan zijn dat als gevolg van de vrije vakkenpakketkeuze slechts een beperkt aantal leerlingen alle drie de natuurwetenschappen in het examenpakket kiest.

Vraag 1. Tussen docenten in de biologie en docenten in de overige natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs is nauwelijks of geen sprake van enige vorm van vakinhoudelijke samenwerking.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 2. Kunt u factoren noemen die het in de huidige praktijk nauwelijks of niet voorkomen van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs bewerkstelligen?

- ☐ *nee (doorgaan met vraag 3)*
- ☐ *ja, mijns inziens spelen de volgende factoren een rol bij het al dan niet optreden van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen:*

Vraag 3. Kent u vormen van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs?

- ☐ *nee (doorgaan met vraag 4)*
- ☐ *ja (doorgaan met vraag 3a)*

Vraag 3a. Welke vorm heeft de u bekende vakinhoudelijke samenwerking?

Vraag 3b. Bij welke onderwerpen vindt de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking plaats?

Vraag 3c. Op welke school vindt de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking plaats?

Vraag 3d. Welke effecten ziet u van de door u genoemde vorm van vakinhoudelijke samenwerking?

Vraag 4. Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs is van wezenlijk belang.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 5. Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs moet meer gestimuleerd worden.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Deel B: Samenwerking in toekomstige praktijk

Wat betreft vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de biologie en docenten in de overige natuurwetenschappen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs (vwo, havo) bestaan er verschillende mogelijkheden. Daarover gaan de volgende vragen.

Een eerste mogelijkheid voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen betreft de volledige integratie van de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs ('science'). Bij deze mogelijkheid voor samenwerking worden de geïntegreerde natuurwetenschappen in een groep door één docent gegeven.

Vraag 6. In de bovenbouw van het voortgezet onderwijs is, mede gezien het niveau van de huidige eindexamenprogramma's, geen plaats voor een volledig geïntegreerde aanpak van de natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 7. Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs in de vorm van volledige vakkenintegratie is in de toekomst niet gewenst.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Een tweede mogelijkheid voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs betreft het aanbieden van een aantal vakinhoudelijke onderwerpen in de vorm van jaarlijks terugkerende kortdurende projecten, bijvoorbeeld een projectweek over een onderwerp als 'water'. Bij deze mogelijkheid voor samenwerking ontwerpen docenten natuurwetenschappen een gezamenlijk projectplan; iedere docent levert zijn eigen vakinhoudelijke

bijdrage als deel van het geheel.

Vraag 8. Het aanbieden van een aantal onderwerpen in de vorm van jaarlijks terugkerende kortdurende projecten lijkt een realistisch haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 9. Het aanbieden van een aantal onderwerpen in de vorm van jaarlijks terugkerende, kortdurende projecten als vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen is gewenst.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Een derde mogelijkheid voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs betreft de zogenaamde vakkenverbinding. Onder vakkenverbinding verstaan we het door docenten natuurwetenschappen aan de orde stellen van vakoverschrijdende leerstofelementen waarbij zij gezamenlijk een lessenserie ontwerpen (bijvoorbeeld over het oog). Ieder blijft het tot zijn vakgebied behorend gedeelte van de stof behandelen, maar er worden afspraken gemaakt over onder meer terminologie, demonstratie- en leerlingenproeven, tijdstip van behandeling, volgorde van de leerstof en didactische aanpak.

Vraag 10. De bovengeschetste vakkenverbinding is een realistisch haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 11. Vakkenverbinding is als vorm van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen gewenst.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

We verwachten dat in de nabije toekomst de mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding in de bovenbouw van voortgezet onderwijs zullen toenemen als gevolg van een aantal ontwikkelingen.

In de eerste plaats verwachten we dat er tenminste één doorstroomprofiel zal zijn waarin het vak biologie gecombineerd met de (deel)vakken natuur- en scheikunde voorkomt.

In de tweede plaats lijkt het niet waarschijnlijk dat de nieuwe eindexamenprogramma's fundamenteel zullen worden gewijzigd.

In de derde plaats verwachten we dat er met het invoeren van het studielastprincipe in plaats van het huidige vakurensysteem minder schoolorganisatorische en roostertechnische belemmeringen voor vakinhoudelijke samenwerking zullen zijn.

Bijlage 2

Vraag 12. De mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding zullen in de toekomst toenemen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 13. Daadwerkelijke vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de vorm van vakkenverbinding zal in de toekomst toenemen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 14. Welke middelen c.q. strategieën zijn naar uw mening bruikbaar voor het stimuleren van vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding tussen docenten in de natuurwetenschappen?

Vraag 15. Kunt u factoren noemen die de vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen beïnvloeden (remmende c.q. bevorderende)?

☐ *nee (doorgaan met vraag 16).*

☐ *ja, mijns inziens spelen de volgende remmende c.q. bevorderende factoren een rol:*

Vraag 16. Ziet u in de toekomst nog meer mogelijkheden (modellen) voor samenwerkingspraktijk tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs dan de reeds genoemde?

☐ *nee (doorgaan met vraag 17).*

☐ *ja, mijns inziens zijn er nog de volgende mogelijkheden (modellen) voor samenwerkingspraktijk*

Vakoverschrijdende leerstofelementen, die object kunnen zijn van samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van voortgezet onderwijs, moeten deel uitmaken van de schriftelijke eindexamenonderwerpen biologie en/of natuurkunde en scheikunde, of zouden onderdelen van de schoolonderzoeken - inclusief het handelingsdeel bij biologie - in deze vakken moeten zijn.

Vraag 17. Vakoverschrijdende leerstofelementen als object van samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen dienen deel uit te maken van het schriftelijk eindexamenprogramma of de schoolonderzoeken.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 18. Kunt u nog andere criteria noemen waaraan vakoverschrijdende leerstofelementen uit de natuurwetenschappen zouden moeten voldoen, willen zij geschikt zijn als object van vakinhoudelijke samenwerking?

- ☐ *nee (doorgaan met vraag 19)*
☐ *ja, mijns inziens zijn de volgende criteria van belang:*

Als voorbeeld van een onderwerp met vakoverschrijdende leerstofelementen noemen we het oog, met aspecten als anatomie, fysiologie, optica, lasertechniek (therapie bij netvliesloslating), chemie van het zien, chemie van polymeren (kuntlenzen) en dergelijke.

Vraag 19. Het oog is een voorbeeld van een onderwerp met vakoverschrijdende leerstofelementen dat zich goed leent voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 20. Kunt u nog meer onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen noemen die zich bij uitstek lenen voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen, in de vorm van vakkenverbinding, in voortgezet onderwijs?

- ☐ *nee (doorgaan met vraag 21)*
☐ *ja, wilt u zo vriendelijk zijn deze onderwerpen te noemen, met de vakoverschrijdende leerstofelementen?*

Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen, bijvoorbeeld in de vorm van vakkenverbinding, in de bovenbouw van voortgezet onderwijs zou mogelijk kunnen leiden tot betere begripsvorming bij leerlingen.

Vraag 21. Vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen (bijvoorbeeld bij de behandeling van het oog) bevordert begripsvorming bij leerlingen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 22. Verwacht u eventueel nog andere effecten van vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen?

- ☐ *nee (doorgaan met vraag 23)*
☐ *ja, mijns inziens zijn de volgende effecten te verwachten:*

Kunt u, ten slotte, belangrijke relevante literatuur noemen met betrekking tot vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de biologie en in de overige natuurwetenschappen in de bovenbouw van een school voor voortgezet onderwijs, mogelijk leidend tot begripsvorming bij leerlingen?

Hartelijk dank voor het invullen van de vragenlijst!

Bijlage 3. Vragenlijst-2 ten behoeve van het Delphi-onderzoek

In deze bijlage geven we een overzicht van de vragen die in ronde-2 van het Delphi-onderzoek zijn gesteld. In dit overzicht zijn, uit oogpunt van papierbesparing, de ruimten voor het beantwoorden van de vragen en voor de toelichting en/of opmerkingen weggelaten.

De vragenlijst is ontwikkeld op basis van de resultaten van de eerste vraagronde en is een vervolg op de door respondenten uit vraagronde-1 ingevulde vragenlijst-1 van het Delphi-onderzoek. De lijst bestaat uit een algemeen deel met enkele vragen van informatieve aard en een specifiek deel met vragen - gepresenteerd in de vorm van stellingen - over vakinhoudelijke samenwerking, in de vorm van vakken-verbinding, tussen docenten in de natuurwetenschappen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Voordat we u deze stellingen voorleggen, geven we aan het begin van het specifieke deel een korte introductie.

Algemeen deel

In de begeleidende brief bij de eerste vragenlijst is u gevraagd of u er bezwaar tegen heeft om bij de definitieve rapportage van het onderzoek in de vorm van een proefschrift, als deskundige vermeld te worden. Omdat niet elke respondent deze vraag heeft beantwoord en omdat we de vraag wat willen uitbreiden, stellen we haar nogmaals.

☐ *Ik wil als geraadpleegde deskundige niet in het proefschrift vermeld worden.*

Naam:

☐ *Ik heb geen bezwaar tegen vermelding als deskundige, in onderstaande vorm.*

Titelatuur: Hr., Mevr., Prof., Dr., Drs., Ir., anders, namelijk:

Voorletter(s):

Achternaam:

Functie:

In de eerste vragenlijst is u gevraagd of u scholen kent waar vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen in de bovenbouw plaatsvindt. We willen deze vraag, nader gepreciseerd, nogmaals stellen.

Vraag 1. Kent u scholen waar in de huidige situatie vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen in de bovenbouw van havo/vwo plaatsvindt?

☐ *nee*

☐ *ja*

Naam van de school:

Plaats:

Vorm en aard van de samenwerking (zo mogelijk):

In paragraaf 3 van het verslag van vraagronde-1 zijn de uitspraken van de respondenten vrijwel integraal weergegeven, met dien verstande dat (ongeveer) gelijkkluidende uitspraken éénmaal zijn vermeld en zodanig zijn geformuleerd dat volgens ons daarmee de respondenten zoveel mogelijk recht wordt

gedaan. Van belang is of u uw uitspraken herkent en of u akkoord kunt gaan met de samenvattingen. Daarover gaan de volgende vragen.

Vraag 2. Mijn uitspraken in het verslag van vraagronde-1 zijn in het algemeen duidelijk vermeld.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 3. In de samenvattingen per vraag (paragraaf 3 van het verslag van vraagronde-1) herken ik in het algemeen duidelijk mijn uitspraken met betrekking tot vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 4. De vorm waarin de resultaten van de eerste vraagronde zijn gepresenteerd, is voldoende overzichtelijk en duidelijk.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Wanneer u na lezing van het rapport uw oorspronkelijke antwoord op bepaalde vragen en/of uw toelichting daarop wilt wijzigen, biedt de volgende vraag u daartoe de gelegenheid.

Vraag 5. Mede naar aanleiding van de antwoorden, toelichtingen en opmerkingen van andere respondenten, wil ik mijn oorspronkelijke uitspraak (enigszins) wijzigen, namelijk bij de volgende vraag/vragen (u kunt zonodig doorgaan op de achterzijde van dit blad).

Specifiek deel

In vraagronde-1 is vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen in een tamelijk ruim kader aan de orde geweest. In vraagronde-2 willen we de vragen toespitsen op de kern van ons onderzoek, namelijk samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen in de toekomstige bovenbouw van havo en vwo. Deze samenwerking heeft de vorm van vakkenverbinding en vindt plaats in een context van vraagstukken rond gezondheid en ziekte. Het gaat dan om het vakinhoudelijk deel van het profiel Natuur en Gezondheid. Het nieuwe vak 'Algemene Natuurwetenschappen' is geen object van onderzoek. Dit vak komt - evenals de basisvorming in de onderbouw - wel zijdelings aan de orde. We verwachten namelijk dat vormen van vakinhoudelijke samenwerking in de basisvorming en bij het vak Algemene Natuurwetenschappen, het optreden van soortgelijke samenwerkingsvormen in het profiel Natuur- en Gezondheid kunnen bevorderen.

Verder merken we op dat het niet onze bedoeling is om vergaande integratie van de natuurwetenschappen die deel uitmaken van het bovengenoemde profiel na te streven. Onze opzet is het onderzoeken van mogelijkheden van samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen bij de behandeling van een beperkt aantal daartoe bij uitstek geschikte onderwerpen met vakgrensoverschrijdende leerstofelementen in een bepaalde context.

Zoals reeds gezegd, presenteren we de vragen in de vorm van stellingen. Deze stellingen zijn geordend in een aantal categorieën. Als inleiding op de stellingen geven we per categorie een korte toelichting. De stellingen betreffen in hoofdzaak een situatie zoals te verwachten is na invoering van het profiel

Natuur en Gezondheid, waarbij leerlingen onderwijs krijgen in zowel biologie als natuurkunde en scheikunde.

Evenals bij de beantwoording van de stellingen uit vraagronde-1, kunt u uw waardering voor deze stellingen in deze vragenlijst aangeven op een vijfpuntsschaal: *zeer oneens* O - O - O - O - *zeer eens*.

1. Vakinhoudelijke samenwerking in het algemeen

De meeste respondenten vinden, onder bepaalde voorwaarden, vakinhoudelijke samenwerking in het algemeen belangrijk. In de volgende stellingen komen een aantal aspecten van deze samenwerking aan de orde.

Vraag 6. Vakinhoudelijke samenwerking is een brug naar realistisch onderwijs - gericht op 'werkelijkheid en samenleving' - dat meestal vakoverschrijdend is.

zeer oneens O - O - O - O - *zeer eens*

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 7. Bij training van algemene vaardigheden - zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen - is vakinhoudelijke samenwerking gewenst.

zeer oneens O - O - O - O - *zeer eens*

Toelichting en/of opmerkingen:

Diverse respondenten vinden het aanbevelenswaardig om ook andere vakken, zoals aardrijkskunde, geschiedenis en maatschappijleer, te betrekken bij de samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

Vraag 8. Het zo mogelijk betrekken van andere vakken bij de samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen is gewenst.

zeer oneens O - O - O - O - *zeer eens*

Toelichting en/of opmerkingen:

2. Vormen van vakinhoudelijke samenwerking

In de eerste vraagronde zijn diverse vormen van vakinhoudelijke samenwerking aan de orde gekomen, zoals volledige integratie, projectwerk en vakkenverbinding. De volgende stellingen gaan nader in op deze vormen van samenwerking.

2.1 Volledige integratie

Enkele respondenten vrezen bij vakinhoudelijke samenwerking voor verlies van identiteit van het schoolvak biologie. Dit verlies van identiteit zou voor alle natuurwetenschappen kunnen gelden. Hierover gaat de volgende stelling.

Vraag 9. Volledige integratie leidt tot identiteitsverlies van de afzonderlijke natuurwetenschappelijke vakken.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

2.2 Projectonderwijs

Veel respondenten vinden vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van een jaarlijks terugkerend, kortdurend project haalbaar en wenselijk. Hieronder noemen we een aantal argumenten waarom projectonderwijs om praktische redenen niet onze eerste keus is voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

Elk schoolvak kent min of meer optimale leerstofsequenties waar docenten om allerlei redenen niet makkelijk van afwijken. Bovendien is op dit moment en wellicht ook in de toekomst een tamelijk rigide roostering op de meeste scholen onvermijdelijk. Daarnaast vallen - meestal onvoorzien - nogal eens lessen uit. Om deze redenen is het niet gemakkelijk om op een zinvolle wijze een project, zelfs een kortdurend, te organiseren. Eén van de meest klemmende argumenten is waarschijnlijk dat een toenemend aantal projecten leidt tot organisatorische problemen. De docenten in de natuurwetenschappelijke vakken zijn namelijk niet de enigen die eventueel een project willen opzetten en vaak zijn er ook een aantal 'vakoverstijgende projecten' zoals een vredesweek, een derde-wereld project enzovoort.

Vraag 10. Op een doorsnee school voor voortgezet onderwijs is het in de toekomst organiseren in de bovenbouw van kortdurende projecten met vakoverschrijdende leerstofelementen maar zeer beperkt mogelijk.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

2.3 Vakkenverbinding

Men kan vakkenverbinding als samenwerkingsvorm tussen docenten natuurwetenschappen, bij een beperkt aantal onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen, beschouwen als 'een wat meer gespreid project'. De bestaande roosters blijven intact. Er is minder verstoring van de bestaande leerstofsequentie, uitval van enkele lessen bedreigt de voortgang van de samenwerking niet wezenlijk en er zijn meer mogelijkheden voor gelijktijdige vakkenverbindingsactiviteiten.

Vraag 11. Vakkenverbinding is gewenst bij het aan de orde stellen van bepaalde vakoverschrijdende leerstofonderdelen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 12. Vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding leidt niet tot identiteitsverlies van de afzonderlijke vakken.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

3. Vakinhoudelijke samenwerking beïnvloedende factoren

Volgens respondenten is er een aantal factoren die vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding beïnvloeden. In de volgende stellingen gaan we daar nader op in.

Algemeen

Vraag 13. Er zijn 'cultuurverschillen' tussen docenten van de verschillende natuurwetenschappen (zij spreken een verschillende taal ten aanzien van de doelen van het vakonderwijs, de inhoud en het belang van bepaalde begripsdefinities).

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 14. Mogelijke 'cultuurverschillen' tussen docenten in de natuurwetenschappelijke vakken hebben geen remmende invloed op samenwerking.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 15. Het ontwikkelen van op samenwerking inspelend lesmateriaal (goed uitgewerkte interdisciplinaire leerstofeenheden) is een noodzakelijke voorwaarde voor vakinhoudelijke samenwerking.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 16. Meer aandacht voor algemene vaardigheden (bijvoorbeeld het leggen van verbanden of probleemoplossen) en onderzoeksvaardigheden (bijvoorbeeld het opzetten van een onderzoek) bevordert vakinhoudelijke samenwerking.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Basisvorming

Door diverse respondenten is gesteld dat invoering van de Basisvorming een stimulerend effect kan hebben op samenwerking in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Te denken valt aan ontwikkelingen in de Basisvorming zoals de invoering van het nieuwe vak natuur-scheikunde en mogelijke samenwerkingsvormen tussen dit vak en biologie en tussen biologie en verzorging. Bovendien

kunnen vakoverschrijdende vaardigheden, zoals onderzoeksvaardigheden, een rol spelen bij de vakinhoudelijke samenwerking.

Vraag 17. Ontwikkelingen op het gebied van vakinhoudelijke samenwerking in de Basisvorming zullen samenwerking in de toekomstige bovenbouw bevorderen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Algemene Natuurwetenschappen

Diverse respondenten menen dat invoering van een vak als Algemene Natuurwetenschappen ('science'), dat in ieder geval elementen zal bevatten van de vakken natuurkunde, scheikunde en biologie, effecten zal hebben op het gebied van vakinhoudelijke samenwerking.

Hierna volgen enkele stellingen over het vak Algemene Natuurwetenschappen.

Vraag 18. Het vak Algemene Natuurwetenschappen moet bij voorkeur gegeven worden door één docent.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 19. Voor toekomstige docenten Algemene Natuurwetenschappen is adequate (na)scholing met bevoegdheidsverklaring noodzakelijk.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Studielastprincipe

De profielnota omschrijft een doorstroomprofiel als een samenhangend pakket van vakken en deelvakken, waarvan de omvang wordt uitgedrukt in termen van studielast. Studielast is de gemiddelde studietijd die de leerling besteedt aan lestijd en aan huiswerk.

Met de invoering van de studielast beoogt de profielnota meer ruimte te geven aan de scholen, zodat ze adequater kunnen reageren op nieuwe maatschappelijke wensen. Bovendien kan de organisatie van de school flexibeler worden, zodat er een grotere verscheidenheid aan werkvormen en groeperingsvormen mogelijk is en er meer ruimte voor het oefenen van vaardigheden ontstaat.

Vraag 20. Het invoeren van het studielastprincipe biedt meer mogelijkheden voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

4. Voorwaarden voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding

Respondenten noemen een aantal voorwaarden voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding. Enkele van deze voorwaarden komen in de volgende stellingen aan de orde.

4.1 Algemeen

Vraag 21. Dwingend voorschrijven van vakinhoudelijke samenwerking is niet raadzaam.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 22. Voor een goede ontwikkeling van vakinhoudelijke samenwerking moet er eerst een didactiek ontwikkeld worden op basis van onderzoek.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

4.2 Criteria voor keuze van onderwerpen

Respondenten noemen een aantal criteria waaraan onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen moeten voldoen om geschikt te zijn als object voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen.

Vraag 23. Vakoverschrijdende leerstofelementen moeten aangeboden worden in thema's die gekoppeld worden aan praktijkvoorbeelden die voor de lerende van persoonlijk en/of maatschappelijk belang (kunnen) zijn.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

5. Geschikte onderwerpen voor vakinhoudelijke samenwerking

De respondenten noemen nogal wat onderwerpen die bij uitstek geschikt zijn voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding tussen docenten in de natuurwetenschappen. Het merendeel van deze onderwerpen leggen we u in vraag 24 voor. Van een aantal van de genoemde onderwerpen zijn alleen bepaalde aspecten geschikt als object voor vakinhoudelijke samenwerking. Als voorbeeld noemen we: 'aspecten van het milieu'; in de vraag is dan korthedshalve alleen 'milieu' vermeld. Zoals we reeds eerder hebben opgemerkt, gaan we uit van de situatie na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid'. Leerlingen die dit profiel gekozen hebben, krijgen onderwijs in zowel het vak biologie als de vakken natuurkunde en scheikunde.

Vraag 24. Voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding zijn (bepaalde aspecten van) de volgende onderwerpen bij uitstek geschikt.

Milieu	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Gezondheid	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Voeding	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Ziekten als aids, kanker, struma, diabetes	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Werking van geneesmiddelen	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Toxicologie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Biochemie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Chemische reacties	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Sport, houding en beweging	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Mechanica en beweging	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Begrip energie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Biotechnologie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Oor	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Oog	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Electriciteitsleer-zenuwimpuls-ionentransport	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Hart, circulatie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Kringlopen	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Fotosynthese	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Landbouw	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Bodem	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Materialen: stevigheid, chemische samenstelling, structuren-bouwelementen, mechanica	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Water in levende- en levenloze natuur	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Oecologie	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Algemene- en onderzoeksvaardigheden	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Microscopie: optica, cellen	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens
Geschiedenis van de natuurwetenschappen	zeer oneens	O - O - O - O - O	zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen bij vraag 24:

Vraag 25. Welke drie van de bovenstaande onderwerpen vindt u, in volgorde van belangrijkheid, het meest geschikt voor vakinhoudelijke samenwerking?

Onderwerp 1:

Onderwerp 2:

Onderwerp 3:

Toelichting en/of opmerkingen:

6. Het ontwerpen van lesmateriaal en vakinhoudelijke samenwerking

Respondenten wijzen herhaaldelijk op het niet voorhanden zijn van adequaat lesmateriaal over onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen. In de volgende stellingen komen - na een korte toelichting - aspecten van het ontwerpen van lesmateriaal aan de orde.

6.1 Algemeen

In de eerste vraagronde is bij het onderwerp vakkenverbinding door ons gesteld dat docenten natuurwetenschappen gezamenlijk een lessenserie ontwerpen over een onderwerp met vakoverschrijdende leerstofelementen. Respondenten wijzen in de eerste plaats, terecht, op de reeds zware werkdruk van docenten. Daarnaast stelt een respondent dat het ontwikkelen van lesmateriaal geen taak van alleen docenten moet zijn, maar dat daarbij ook professionele leerplanontwikkelaars ingeschakeld moeten worden. Het lesmateriaal moet uiteraard voldoen aan de gangbare eisen van deugdelijkheid. Bovendien lijkt het zinvol de leerstof in contexten aan te bieden. Geschikte leerstof over onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen kan wellicht begripsvorming bij docenten en leerlingen bevorderen. Over deze aspecten van het ontwerpen van lesmateriaal gaan de volgende stellingen.

Vraag 26. Leraren moeten ingeschakeld worden bij het ontwikkelen van lesmateriaal voor onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 27. Het inschakelen van professionele leerstofontwikkelaars bij vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen bevordert samenwerking tussen deze docenten.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 28. Het gebruik van geschikt lesmateriaal over onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen kan begripsvorming bij docenten bevorderen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 29. Wanneer bij docenten de in de vorige stelling genoemde begripsvorming optreedt, zal ook bij hun leerlingen sprake zijn van toenemende begripsvorming.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

6.2 Context

Van de vier in de Profielnota genoemde doorstroomprofielen is er slechts één waarin alle drie de natuurwetenschappen als verplichte vakken zijn opgenomen, namelijk het profiel 'Natuur en Gezondheid'. De keuze voor een contextgebied als gezondheid en ziekte zal waarschijnlijk goed aansluiten bij de inhoud van dit doorstroomprofiel. Deze keuze wordt gesteund door een aantal ontwikkelingen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. In het nieuwe examenprogramma biologie (WEB) worden vier contextgebieden genoemd en één daarvan is 'gezondheid'. Van leerlingen wordt verwacht dat zij

de leerstof uit diverse hoofdstukken van het eindexamenprogramma kunnen toepassen in dit contextgebied. In de huidige examenprogramma's natuur- en scheikunde vinden we, met name in de hoofdstukken biochemie en biofysica, onderwerpen die verband houden met gezondheid (en ziekte). Ten slotte noemt een aantal respondenten het onderwerp gezondheid, evenals een aantal ziekten, als bij uitstek geschikt als object voor vakinhoudelijke samenwerking vanwege de vakoverschrijdende leerstofelementen en de maatschappelijke relevantie. Over het contextgebied 'aspecten van gezondheid en ziekte' gaat de volgende stelling.

Vraag 30. 'Gezondheid en ziekte' is een bij uitstek geschikt contextgebied waarbinnen onderwerpen met vakoverschrijdende leerstofelementen als object voor samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen aan de orde kunnen komen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

7. Effecten van vakinhoudelijke samenwerking

Respondenten noemen zowel voor leerlingen als voor docenten een groot aantal effecten van vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding. Een aantal van deze effecten is verwerkt in de volgende stellingen.

7.1 Effecten voor leerlingen

Vraag 31. Vakinhoudelijke samenwerking doorbreekt de systeemscheiding tussen de verschillende vakdisciplines.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 32. Vakinhoudelijke samenwerking leidt tot een beter beeld van de natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 33. Vakinhoudelijke samenwerking leidt tot een beter inzicht in de gemeenschappelijke aspecten ('de complementariteit') van de wetenschappelijke denk- en werkwijze in de afzonderlijke natuurwetenschappen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 34. Vakinhoudelijke samenwerking is gunstig bij training van algemene vaardigheden, zoals het leggen van verbanden en probleemoplossen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 35. Vergeleken met een situatie van gescheiden vakken, leidt vakinhoudelijke samenwerking tot een betere begripsontwikkeling bij leerlingen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 36. Vakinhoudelijke samenwerking maakt het mogelijk realistischer leercontexten te kiezen.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

7.2 Effecten voor docenten

Voor de beantwoording van de onderstaande stellingen gaan we ervan uit dat de docenten de beschikking hebben over - door deskundigen ontwikkeld - geschikt lesmateriaal en dat de samenwerking, zoals ook al in de inleiding is gesteld, een beperkt aantal geselecteerde onderwerpen omvat.

Vraag 37. Vakinhoudelijke samenwerking vergroot de bereidheid tot veranderingen bij docenten.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Vraag 38. Vakinhoudelijke samenwerking verhoogt de arbeidssatisfactie van docenten.

zeer oneens O - O - O - O - O zeer eens

Toelichting en/of opmerkingen:

Hartelijk dank voor het invullen van de vragenlijst!

Bijlage 4. Weergave van resultaten van vraag 18 uit vraagronde-1 van het Delphi-onderzoek

Als voorbeeld van de wijze waarop de resultaten per vraag zijn weergegeven in het verslag van de eerste vraagronde van het Delphi-onderzoek, geven we het resultaat van één van de open vragen.

Vraag 18: *Kunt u nog andere criteria noemen waaraan vakoverschrijdende leerstofelementen uit de natuurwetenschappen zouden moeten voldoen, willen zij geschikt zijn als object van vakinhoudelijke samenwerking?*

- ☐ Nee [*n*=15]
- ☐ Ja [*n*=16]

Toelichting

- Gericht op toepassing van de natuurwetenschappen in maatschappij en techniek.
- Relatie met maatschappelijke werkelijkheid, relevantie is een motivatie voor vakoverschrijding.
- Raakvlakken met het dagelijks leven, mogelijkheden tot leerlingenactiviteiten, bij voorkeur voortgekomen uit interesse van leerlingen. Schoolspecifiek dus.
- Het zou moeten gaan over contexten, thema's, situaties die een sterke (toekomstige) realiteitswaarde hebben: kortom gekoppeld moeten zijn aan praktijkvoorbeelden die voor de lerende van persoonlijk en/of maatschappelijk belang (kunnen) zijn.
- Aansluiten bij politiek-maatschappelijke issues, ethische aspecten.
- Mogelijkheid van een natuurwetenschappelijke benadering (natuurwetenschappelijke denk- en werkwijze), inclusief practicum.
- Actuele onderwerpen (oorlog, voeding, gezondheid), maatschappelijke relevantie, praktische toepasbaarheid (binnen contexten), beroepsoriëntatie bevattend, appelleren aan emoties.
- Niet alleen op de leerstof letten maar ook op de didactische aspecten. Bijvoorbeeld de rol van vaardigheden (2x) zoals geïntegreerde aanpak van leerstof/vaardigheden. Diversiteit van wetenschappelijk denken.
- Onderwijsmateriaal moet niet alleen ontwikkeld worden maar ook in de praktijk worden uitgetest en via inservice training aan docenten onderwezen worden.
- Afstemming van practica en didactiek van het vak.
- Zij moeten duidelijk in elk van de vakken een rol spelen.
- Niet te zeer diepgaand vakspecifiek.
- Het criterium dat minstens twee van de vakken biologie, natuurkunde en scheikunde een wezenlijke bijdrage aan dat object moeten kunnen geven. Bijvoorbeeld het oog (biologie en natuurkunde), de spijsvertering (biologie en scheikunde), het criterium dat de leerstofelementen uit de vakken tot de normale middelbare-school leerstof behoren.
- Het vormende aspect van biologie niet verliezen; gezondheid, seksuele vorming, levensbeëindiging enzovoort.
- Deze leerstofelementen moeten deel uitmaken van het examenprogramma van de betrokken vakken zodat bijvoorbeeld iemand die geen natuurkunde heeft, ook aan deze eis moet voldoen bij het examen biologie.

Samenvatting

Respondenten noemen een aantal criteria waaraan vakgrensoverschrijdende leerstofelementen zouden moeten voldoen om geschikt te zijn als object van vakinhoudelijke samenwerking.

Volgens respondenten moeten de genoemde vakgrensoverschrijdende leerstofelementen aansluiten bij de interesse van leerlingen en een relatie hebben met de maatschappelijke werkelijkheid; relevantie is namelijk een motief voor vakgrensoverschrijding. Voorts moeten de leerstofelementen gericht zijn op toepassing van de natuurwetenschappen in maatschappij en techniek. Verder lijkt het van belang het betreffende onderwijs aan te bieden in relatie tot contexten, als thema's en in situaties met een sterke (toekomstige) realiteitswaarde en dus gekoppeld aan praktijkvoorbeelden die voor de lerende van persoonlijk en/of maatschappelijk belang (kunnen) zijn.

In verband hiermee noemen respondenten een aantal relevante, actuele onderwerpen als oorlog, voe-

Bijlage 4

ding en gezondheid. Voorts wijzen zij op het belang van de geïntegreerde aanpak van leerstof en vaardigheden. Eén respondent wijst erop dat bij samenwerking het vormende aspect (zoals dit aan de orde kan komen bij onderwerpen als gezondheid, sexuele vorming enzovoort) van de biologie niet verloren mag gaan.

Bijlage 5. Weergave van resultaten van vraag 15 uit vraagronde-2 van het Delphi-onderzoek

Als voorbeeld van de wijze waarop de resultaten per vraag zijn weergegeven in het verslag van de tweede vraagronde van het Delphi-onderzoek, geven we hieronder het resultaat van één van de vragen in de vorm van stellingen.

Vraag 15: *Het ontwikkelen van op samenwerking inspelend lesmateriaal (goed uitgewerkte interdisciplinaire leerstofeenheden) is een noodzakelijke voorwaarde voor vakinhoudelijke samenwerking.*

zeer oneens 0 - 0 - 0 - 0 - 0 zeer eens

Tabel 3.10: Overzicht van gemiddelde score (X) per respondentengroep bij vraag 15 en de totaal gemiddelde scores en standaardafwijkingen (SA).

Respondentengroep	N	X	SA
Inspectie	3	3.7	
Vakdidactiek	7	4.0	
KPC	1	5.0	
SLO	4	4.5	
CITO	2	5.0	
AVS	2	4.5	
STG	1	5.0	
Totaal R93	20	4.3	0.8
SPD	18	4.0	1.2
D93	9	3.9	1.1
D94	6	4.5	0.5
Totaal	33	4.1	1.1
Totaal algemeen	53	4.2	1.0

Toelichting en/of opmerkingen R93

- Geschikt lesmateriaal is nog steeds voor de gemiddelde docent het primaire 'vervoermiddel' voor zijn/haar onderwijs.
- Zie de ervaring met invoering van de basisvorming: zodra de leermethoden samenwerkingsmateriaal aanbieden, zullen de docenten er ook (makkelijker) gebruik van maken.
- 't Is wel fijn als 't er is, maar een noodzakelijke voorwaarde is het natuurlijk niet!
- Het kan de samenwerking in ieder geval vergemakkelijken.
- Hoewel dit nuttig zou zijn, is scholing van docenten en een stimulerend schoolklimaat veel belangrijker.
- Materiaal (van buiten) kan helpen maar secties moeten eerst zelf beginnen.
- Zelf maken kan ook.
- Wie ontwikkelt dit materiaal? Op welke doelgroep gericht?
- Maar er zijn meer noodzakelijke voorwaarden: stimulerende schoolleiding, goede organisatorische condities etcetera.

Toelichting en/of opmerkingen SPD

- Sterk afhankelijk van type docent en vakkenoverschrijdende belangstelling c.q. kennisniveau.
- Geen noodzaak, wel zeer gewenst.
- Zo min mogelijk barrières overlaten.
- De leerboeken moeten voor hetzelfde leerjaar dezelfde onderwerpen bieden voor de verschillende vakken.

Dus niet: ecologie in 5 vwo bij aardrijkskunde en in 4 vwo bij scheikunde enzovoort.

- Goed materiaal zal de drempel zeker verlagen!
- Maar waar halen we de tijd vandaan?
- Hoeft niet, als er genoeg tijd vrij gemaakt wordt op scholen, kan door goed overleg tussen de docenten ook iets worden ontwikkeld.

Toelichting en/of opmerkingen D93

- Zonder gestructureerd lesmateriaal, wordt alleen vakoverstijgend 'gepraat', niet uitvoerbaar anders.
- Niet noodzakelijk maar wel veel gemakkelijker.

Toelichting en/of opmerkingen D94

- Uitgewerkt lesmateriaal moet voorhanden zijn zodat de verschillende docenten kunnen zien wat er bij de verschillende vakken wordt behandeld.

Samenvatting

Respondenten vinden ontwikkeling van interdisciplinaire leerstofeenheden belangrijk. Van hen kiest 79% schaalwaarde 4 en 5, dit is een hoge waarde (§ 3, tabel 3.14). Sommige respondenten vinden dit niet noodzakelijk maar wel wenselijk. Daarnaast achten zij scholing van docenten en een stimulerend schoolklimaat van belang. Sommige respondenten merken op dat ook docenten een rol kunnen spelen bij de ontwikkeling van dergelijk materiaal, mits er voldoende faciliteiten worden geboden.

Bijlage 6. Het oog als onderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking en integratie van leerstof

In de eerste vraagronde van de Delphi-studie formuleerden we een stelling over de geschiktheid van 'het oog' als onderwerp voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen en integratie van leerstof, namelijk *'Het oog is een voorbeeld van een onderwerp met vakoverschrijdende leerstofelementen dat zich goed leent voor vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten in de natuurwetenschappen'* (zie bijlage 2, vraag 19). In vraagronde-2 legden we de respondenten een lijst voor van - door respondenten uit vraagronde-1 aangedragen - 26 geschikte onderwerpen - waaronder 'het oog' - voor samenwerking/integratie, voorafgegaan door de vraag *'Voor vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding zijn (bepaalde aspecten van) de volgende onderwerpen bij uitstek geschikt'* (zie bijlage 3, vraag 24).

In beide gevallen konden respondenten scoren op een vijfpuntsschaal: *zeer oneens* - *zeer eens*. In deze bijlage geven we een overzicht van de scores 4 of 5 ('eens' en 'zeer eens') van respondenten in drie tabellen. We duiden in tabel 1 de individuele respondenten aan met een nummer, omdat een aantal van hen anoniem wenst te blijven.

Tabel 1: Overzicht van de scores 4 of 5 van individuele respondenten in vraagronde-1 en -2 (respectievelijk vraag 19 en 24), ingedeeld naar functie. Het aantal respondenten per functiegroep is in vraagronde-1 en -2 veelal verschillend (sommige respondenten vulden alleen vragenlijst-1 in; anderen vulden beide vragenlijsten in maar scoorden in één daarvan bij de desbetreffende vraag lager dan 4 of beantwoordden deze vraag niet). IVL: Aantal ingevulde vraaglijsten; INS: Inspectie; VAK: Vakdidactiek; KPC: Katholiek Pedagogisch Centrum; SLO: Instituut voor Leerplanontwikkeling; CIT: Centraal Instituut voor Toetsontwikkeling; STG: Stuurgroep Tweede Fase Voortgezet Onderwijs; AVS: Algemene Vereniging van Schoolleiders; NVON: Nederlandse Vereniging voor het Onderwijs in de Natuurwetenschappen; NIBI: Nederlands Instituut van Biologen.

Categorie	Vraagronde-1				Vraagronde-2			
	IVL	Vak	Score	% 4+5	IVL	Vak	Score	% 4+5
INS	3			67	3			100
1		na	4					
2		sk	4				4	
3						na	4	
4						bi	5	
VAK	12			67	6			83
1		bi	5					
2		bi	5					
3		na	4				4	
4		bi	5				5	
5		bi	5					
6		bi	5					
7		bi	4				5	
8		sk	5					
9						bi	4	
10						na	5	

KPC	1			100	1		100
1		bi	4			4	
SLO	6			100	4		75
1		bi	5				
2		bi	5			4	
3		sk	4				
4		sk	4			4	
5		na	4				
6		na	5			5	
CIT	3			33	2		100
1		sk	4			4	
2						bi	5
STG	1			100	1		100
1		ne	5			5	
AVS	2			50	2		100
1		bi	4			4	
2						sk	5
NVON	2						
NIBI	1						
IVL totaal	31				19		
Percentage score 4 en 5				65			89

Tabel 2: Overzicht van de scores 4 en 5 van respondenten die alleen deelnamen aan vraagronde-2, vraag 24. SPD: Schoolpracticumdocenten; D93: Docenten met recent voltooide opleiding; D94: Docenten in opleiding

Groep	Aantal ingevulde vragenlijsten	Aantal scores 4 en 5	% 4 en 5
SPD	18	14	78
D93	9	7	78
D94	6	3	50

Tabel 3: Overzicht van de scores 4 en 5 van respondenten - ingedeeld naar vakachtergrond - uit vraagronde-1 (V-1), vraag 19 en vraagronde-2 (V-2), vraag 24. Bi: biologie; Na: natuurkunde; Sk: scheikunde; Ov: overig.

Vak	Aantal ingevulde vragenlijsten		Aantal scores 4 en 5		% 4 en 5	
	V-1	V-2	V-1	V-2	V-1	V-2
Bi	15	34	10	28	67	85
Na	7	5	4	5	57	100
Sk	7	12	5	7	71	58
Ov	2	1	1	1	50	100
Totaal	31	52	20	41	65	79

Bijlage 7. Zien van voorwerpen en beeldvorming

Teneinde misvattingen te vermijden c.q. te ontkrachten en een juiste koppeling tussen alledaagse voorkennis van leerlingen en de fysische theorie te bewerkstelligen, analyseerden Bouwens & Verkerk (1989) enkele fundamentele concepten in de optica, onder meer 'zien van voorwerpen' ('zichtconcept') en 'beeldvorming'. Op basis van hun analyses doen Bouwens & Verkerk suggesties voor de onderwijspraktijk.

Volgens Bouwens & Verkerk is er een aantal essentiële aspecten voor een gestructureerde behandeling van het zichtconcept. We geven deze aspecten weer in tabel 1.

Tabel 1: Essentiële aspecten van het zichtconcept (Bouwens & Verkerk, 1989).

- Het binnentreden van het licht in het oog.
- De passieve rol van het oog bij het binnentreden van licht.
- De actieve rol van het oog bij het bepalen van de richting van waaruit licht kan binnenvallen.
- De noodzakelijke lichtweg: lichtbron-voorwerp-oog.
- De diffuse weerkaatsing door het zichtbare voorwerp.
- De reflectie in alle richtingen, onder andere in de richting van het oog.
- De lichtkegel met het voorwerpspunt als top en de pupilomtrek als beschrijvende cirkel.
- De divergentiehoek van de kegel als maat voor het dieptezien.
- De autofocusfunctie van de ooglenzen als reactie op de veranderende divergentiehoek van de invallende bundel (tweede actieve oogfunctie).
- Het zien van een heel voorwerp als een verzameling lichtkegels.

Volgens de auteurs moeten er bij het concept beeldvorming ook een aantal aspecten ter sprake komen. We sommen deze aspecten op in tabel 2.

Tabel 2: Essentiële aspecten bij het concept beeldvorming (Bouwens & Verkerk, 1989).

- De koppeling met de leefwereld: kijken naar beelden.
- De koppeling met het zichtconcept.
- Het werken met lichtbundels vanuit een voorwerpspunt in plaats van met lichtstralen.
- De beeldvorming met veel lichtbundels.
- De betekenis van de ideale beeldvorming (scherptediepte).
- De abstractie van de wiskundige beschrijving.
- De abstractie van de beeldconstructie.
- De toepassing van optische apparatuur.

Bijlage 8. Procedures voor probleemgericht onderwijs

In deze bijlage geven we een overzicht van de door Moust & Schmidt (1995) ontworpen procedure voor probleemgestuurd onderwijs in het voortgezet onderwijs (tabel 1) en de procedure voor ontwerpnd leren, zoals ontwikkeld door Janssen & Voogt, 1995) (tabel 2).

Tabel 1: Procedure voor probleemgestuurd onderwijs (Moust & Schmidt, 1995).

1. De docent deelt een of meer probleemtaken uit aan groepjes van zes leerlingen (zogenaamde leer-groepen).
2. De leergroepen gaan volgens de 'zevensprong' de verschijnselen beschreven in de taak analyseren op basis van hun voorkennis. De 'zevensprong', een procedure voor het bespreken van probleemtaken, ziet er als volgt uit:
 - (a) *Leg onduidelijke begrippen of termen aan elkaar uit of zoek ze zonedig op.*
 - (b) *Definieer het probleem/de problemen: ga na welke in het probleem beschreven verschijnselen besproken moeten worden.*
 - (c) *Brainstorm: inventariseer kort en krachtig ieders eerste ideeën die een verklaring kunnen bieden voor de verschijnselen.*
 - (d) *Voeg mogelijke samenhangende ideeën samen tot een cluster, diep vervolgens dit cluster uit. Probeer op basis van wat je al weet of meent te weten verklaringen te geven voor de te onderzoeken verschijnselen.*
 - (e) *Spreek af wat je gaat bestuderen: bepaal wat je niet weet, vaag weet, wat tegenstrijdige meningen zijn. Maak vragen op basis waarvan je nader onderzoek kunt gaan doen.*
 - (f) *Zelfstudie: raadpleeg bronnen zoals boeken, tijdschriftartikelen, videomateriaal, docenten.*
 - (g) *Rapporteer: bespreek met elkaar wat je gevonden hebt, probeer hoofd- en bijzaken te scheiden, breng structuur aan in je informatie, pas zonedig nog eens je nieuw verworven kennis toe op de probleemtak om te controleren of je nu beter in staat bent de verschijnselen te verklaren.*

De docent kan intussen van leergroep naar leergroep gaan om te beluisteren welke ideeën de lerenden aandragen ter verklaring van de beschreven verschijnselen.
3. Een plenaire inventarisatie en een verdiepende discussie onder leiding van de docent.

Tijdens deze discussie stelt de docent zich vooral 'uitdagend' op: hij probeert de leerlingen zo nieuwsgierig mogelijk te maken naar de 'oplossing' van de door hen gegeven verklaringen.
4. Leerlingen raadplegen bronnen - bijvoorbeeld in het documentatiecentrum van de school, de stadsbibliotheek of thuis - om de specifieke vraagstellingen die uit de discussies naar voren komen te beantwoorden.

Wanneer er weinig tijd is tussen de lesblokken zou de docent zonedig de geschikte informatie kunnen aanreiken. Deze optie heeft als nadeel dat hierdoor de rijkdom aan potentiële bronnen beperkt wordt en de navolgende discussie minder diepgaand kan verlopen.

Tijdens de periode van zelfstudie wordt van de leerlingen verwacht dat ze proberen zo goed mogelijk antwoord te geven op de door hen gestelde vragen en dat ze zich zo diepgaand in de leerstof verdiepen dat ze aan andere groepsleden op een samenhangende wijze kunnen uitleggen wat ze gevonden hebben of wat ze niet begrijpen.
5. De leerlingen rapporteren in de afzonderlijke leergroepen wat ze gevonden hebben en waarover onhelderheden bestaan.

Tijdens deze rapportage in de subgroepjes luistert de begeleidende docent weer zorgvuldig naar datgene wat in de verschillende groepen ter sprake wordt gebracht.

Belangrijk bij de begeleiding van deze leeractiviteiten is dat de docent een actieve ondersteunende bijdrage levert aan het leerproces van de leerlingen.

6. In een afrondende plenaire discussie worden de dan nog resterende onduidelijkheden onder leiding van de docent verhelderd of zonodig nieuwe leerdoelen voor een volgende zelfstudieronde gepland.

Tabel 2: Probleemstructuur voor ontwerpend leren (Janssen & Voogt, 1995).

1. De docent introduceert het (eerste) probleem uit de probleemstructuur.
2. Leerlingen bedenken vervolgens (individueel) een of meer verklaringen en oplossingen voor het probleem en schrijven deze op een werkblad. Leerlingen krijgen de instructie mee dat ze naar de optimale oplossing moeten zoeken voor het probleem. Dit is de eenvoudigste oplossing die tevens de minst nadelige effecten heeft voor de rest van het organisme. Een dergelijke instructie zorgt ervoor dat het aantal mogelijke oplossingen aanzienlijk wordt beperkt. Deze instructie leidt veelal ook tot de goede oplossingen omdat in de natuur meestal de optimale oplossing is geselecteerd.
3. Leerlingen bespreken vervolgens in een groepje (2-4) hun oplossingen en de nadelen daarvan. Hierbij is het hun taak de meest optimale oplossing te kiezen. Deze afweging in de groep leidt tot een verdere inperking van het aantal oplossingen.
4. De docent inventariseert vervolgens de oplossingen die zijn bedacht. Oplossingen worden met hun nadelen op het bord geschreven. De docent kan hier eventueel oplossingen of nadelen aan toevoegen. De meest optimale oplossing wordt vervolgens geselecteerd en vergeleken met de 'juiste' oplossing. In de meeste gevallen zal de meest optimale oplossing ook de oplossing zijn die in werkelijkheid voorkomt, of tenminste elementen bevatten die ook de 'juiste' oplossing bevat. Indien de meest optimale en de 'juiste' oplossing niet overeenkomen, kan worden nagegaan of bepaalde nadelen over het hoofd zijn gezien. Of we zullen eenvoudigweg moeten constateren dat we een betere oplossing hebben bedacht dan in de natuur is geselecteerd. Docent/leerlingen gaan dan vervolgens verder met de 'juiste' oplossing. Het is immers niet de bedoeling het meest optimale systeem te ontwerpen, maar een systeem te ontwerpen dat overeenkomt met de huidige stand van zaken.
5. De docent geeft vervolgens aan wat de 'juiste' oplossing is voor het probleem. Hier krijgen de leerlingen ook de terminologie aangereikt waarmee wetenschappers deze oplossing benoemen. Het nadeel van deze oplossing wordt geherformuleerd tot een nieuw probleem (uit de probleemstructuur) en de procedure (1-5) wordt herhaald.
6. Na afloop van een les wordt lesmateriaal uitgedeeld. In dit lesmateriaal staat het probleem en de 'juiste' oplossing vermeld met een toelichting. Tevens krijgen de leerlingen enkele huiswerkopdrachten waarin ze de verworven kennis moeten toepassen in nieuwe situaties.

Bijlage 9. De leeskaart

De gezichtsscherpte of visus van een proefpersoon kan met diverse objectieve en subjectieve methoden worden bepaald. Bepreking van de objectieve methoden laten we achterwege, omdat de toepassing ervan buiten het kader van de opdrachten in de probleemtaken valt.

De veel toegepaste subjectieve onderzoeksmethoden zijn alle afhankelijk van de medewerking van de proefpersoon. Gewoonlijk wordt bij de bepaling van de gezichtsscherpte op afstand - in de praktijk een afstand van 5 of 6 meter, afhankelijk van de gebruikte kaart - gebruik gemaakt van kaarten met diverse symbolen (optotypen). Zo zijn er kaarten voor kinderen met afbeeldingen als een kopje, een stoel en een vogel. Verder zijn er de veelgebruikte lees- of letterkaarten. Een nadeel van deze kaarten is onder meer dat sommige proefpersonen de reeks letters van een regel al gauw uit hun hoofd kennen. De nauwkeurigste kaart is de zogenaamde Landolt-C kaart ontworpen door TNO. De symbolen van deze kaart bestaan uit ringen van verschillende afmetingen, voorzien van een opening. De proefpersoon moet aangeven of de openingen in de ringen links, rechts, onder of boven zitten. Een regel telt alleen als scherp gezien, wanneer de proefpersoon hierin geen enkele fout maakt.

De testobjecten of optotypen (letters of tekens) op de kaart zijn berekend in boogminuten (principe van Snellen). Bij meting op de op de kaart aangegeven afstanden worden de dikte van de lijnen waaruit het teken is opgebouwd en de afstanden tussen de onderdelen van het teken steeds gezien onder een hoek van één boogminuut. Deze onderdelen kunnen door het oog met een normale gezichtsscherpte nog als gescheiden worden waargenomen. De opening van een ring van Landolt is even groot als de dikte van de ring en representeert op de aangegeven afstand dus ook een gezichtshoek van één boogminuut. De optotypen van elke kaart zijn in een denkbeeldig vierkant getekend, waarvan de zijden vijf maal zo breed zijn als de dikte van de lijn waaruit het teken is opgebouwd. Een zijde wordt dus gezien onder een gezichtshoek van vijf boogminuten.

De kleinste afstand tussen twee punten waarbij beide nog gescheiden kunnen worden waargenomen is het oplossend of scheidend vermogen (minimum separabile) van het oog. Dit oplossend vermogen hangt af van de optische beeldkwaliteit van het oog in combinatie met de daaropvolgende verwerking door de zenuwcellen. In het algemeen komt dit oplossend vermogen overeen met 1 boogminuut, op het netvlies gerepresenteerd als 0.004 mm, ongeveer overeenkomend met de afmeting van een kegeltje. Twee punten worden gescheiden waargenomen als twee geprikkelde kegeltjes worden gescheiden door een niet-geactiveerd kegeltje. Bij jonge ogen ligt het scheidend vermogen bij een optimale pupildiameter van 2.5 mm, tussen de 0.5 en 1 boogminuut. Omdat de onderdelen van de optotypen uitgaan van een gezichtshoek - gevormd door denkbeeldige lijnen van de uiteinden van het gefixeerde object naar de gele vlek - van één boogminuut, kan de visus van leerlingen meer dan 1 bedragen.

De leeskaarten zijn zodanig geconstrueerd dat ze op een afstand van 5 of 6 meter moeten worden bekeken. Op de kaart is vermeld voor welke afstand deze is bedoeld. In de regel is de ruimte van de vaklokale natuurwetenschappen toereikend om de leeskaart van een afstand van 5 of 6 meter te bekijken. De zogenaamde kaart volgens Snellen, die we gebruiken, is bedoeld voor een afstand van 6 meter. Overigens is elke leeskaart geschikt voor ons doel. Bij elke regel van de kaart is vermeld op welke afstand een normaal ziende deze geheel foutloos moet kunnen lezen. Deze afstand is aangegeven met de letter D, 'distantie'. Een normaal ziende moet op een afstand van 6 meter de regel kunnen lezen die aangeduid wordt met $D=6$, regel 7 op onze kaart. Zijn visus of gezichtsscherpte is dan $6/6=1$. Wanneer hij op een afstand van 6 meter niet scherper kan zien dan de regel aangeduid met $D=36$, dan is zijn visus $6/36$. We zouden deze visus ook kunnen weergeven als $1/6$ of met een decimale breuk 0.17. Het voordeel van de eerste notering is, dat onmiddellijk duidelijk is dat de proefpersoon een regel pas op een afstand van op 6 meter kan lezen, die een normaal ziende nog op een afstand van 36 meter kan lezen. Bij leerlingen vinden we, zoals gezegd, onder gunstige omstandigheden nogal eens een visus van meer dan 1. Wanneer zij bijvoorbeeld op 6 meter afstand de regel $D=3$ kunnen lezen, bedraagt hun visus dus $6/3=2$.

Bijlage 10. Zichtbare lichtbundels

De opdrachten bij de aspecten 'scherp en onscherp zien' en 'accommodatie', bevatten een aantal waarnemingen die door leerlingen moeten worden gedaan. Leerlingen kunnen hun waarnemingen verifiëren door het zichtbaar maken van lichtbundels. Eventueel kunnen zij zelf nieuwe experimenten bedenken.

Zichtbaar maken van lichtbundels

Lichtbundels kunnen zichtbaar worden gemaakt met behulp van een oplossing van fluoresceïne in water. Als proefopstelling nemen we een glazen of kunststof bak gevuld met de genoemde oplossing. Op één zijde van de bak plakken we een sterke positieve lens. Op de tegenovergestelde kant van de bak plakken we doorzichtig papier als 'netvlies'. Daarachter kunnen we een los scherm plaatsen, teneinde functieafwijkingen te verduidelijken. We kunnen natuurlijk ook een aantal lenzen van diverse sterkten op de bak bevestigen of losse lenzen tegen het glas houden.

Suggesties voor experimenten

Wanneer we een evenwijdige lichtbundel op de lens richten, dan wordt de convergente bundel met brandpunt in de oplossing duidelijk zichtbaar. Door verschuiving van de lichtbron kunnen we het brandpunt van de lichtbundel op de plaats van 'het netvlies' laten vallen. Met deze opstelling is ook bijziendheid te simuleren. Het achter het 'netvlies' geplaatste scherm representeert namelijk het 'netvlies' van het bijziende oog met de te lange oogas. Op het scherm zien we - als we de lichtbron niet hebben verschoven - een vage lichtvlek. Toevoegen van een negatieve lens aan de positieve, kan het brandpunt op het scherm laten vallen. Hoe dichter we deze negatieve lens in de richting van de positieve lens verschuiven, hoe meer de op de positieve lens vallende lichtbundel divergeert. In sommige gevallen zal een deel van de divergente stralen niet meer op de positieve lens vallen en kunnen leerlingen constateren dat de lichtsterkte van de bundel in de bak afneemt. Verziendheid - een te korte oogas - is te simuleren door de lichtbron zover naar de positieve lens te schuiven dat het brandpunt op het scherm achter de bak valt, het oog wordt dan 'te kort'. Op het doorzichtige papier op de achterwand van de bak - het netvlies van het verziende oog - verschijnt een onscherp beeld. Toevoegen van een positieve lens aan de bestaande heft de verziendheid op, het brandpunt valt weer op het doorzichtige papier op de achterwand van de bak. Een te sterke extra lens geeft bijziendheid (zie verrijkingstof bij probleemtaak B).

Accommodatie kan worden gesimuleerd door toevoegen van positieve lenzen aan de bestaande.

Astigmatisme (zie verrijkingstof bij probleemtaak A) is te simuleren door als lens een met water gevuld sherryglas te gebruiken. Het beeld wordt dan duidelijk in één richting vervormd. Theoretisch is er sprake van twee brandpunten. Bij het experiment zijn deze niet zichtbaar maar wel is te zien dat er - in tegenstelling tot bij sferische lenzen - niet één duidelijk brandpunt is. De werking van een cylinderglas is na te bootsen met behulp van een met water gevulde reageerbuis.

Een afwijkende stand van de oogas, zoals voorkomt bij (latent) scheelzien, kan men simuleren door een prisma voor de positieve lens te houden. De lichtbundel buigt dan af en valt dan niet meer op 'de gele vlek van het netvlies' (zie ook de proef van Maddox bij het thema 'binoculair zien', bijlage 11).

De invloed van de pupildiameter kan men simuleren met behulp van een diafragma, bijvoorbeeld van een microscoop (zie het thema 'pupilreflex', bijlage 11) en het effect van lichtverstrooiing bij beginnende staar (cataract, 'waterval', zie bijlage 11) kan men nabootsen door op de lens waterdruppels aan te brengen.

Bijlage 11. Suggesties voor probleemtaken

In § 4.10 hebben we bij 'het oog' van het deelonderwerp 'aspecten van de geometrische optica' het thema 'zien met één oog' uitgewerkt in de vorm van een exemplarisch leerstofontwerp. In deze bijlage geven we suggesties voor probleemtaken bij de overige thema's van dit deelonderwerp en bij de thema's van de deelonderwerpen 'pupil-reflex' en 'zien van kleuren (zie tabel 4.4). Tot slot geven we nog enkele suggesties voor probleemtaken bij thema's die niet onder de in tabel 4.4 genoemde deelonderwerpen vallen.

De 'suggesties voor probleemtaken' hieronder zijn bruikbaar ter vervanging van leerstof in de gangbare leerboeken, om deze leerstof te verduidelijken of aan te vullen, om kennis en inzicht van leerlingen te toetsen of als opdracht voor zelfwerkzaamheid in het studiehuis of als onderdeel van een profielwerkstuk.

De meeste probleemtaken bevatten biologische en fysische aspecten, enkele taken bevatten chemische aspecten. Voor 'natuurkunde' c.q. 'scheikunde' fungeert 'biologie' als een aanleer- of toepassingscontext, waarvan mogelijk een motiverende werking uitgaat. De winst voor biologie is het inzicht dat 'zien' een complex proces is, dat alleen bij een interdisciplinaire benadering goed is te begrijpen. Bovendien komt tot uiting dat het oog, hoe 'goed' ook, niet 'volmaakt' is.

In de probleemtaken is er een duidelijk verband tussen de beschreven problemen en de gangbare natuurwetenschappelijke leerstof voor de bovenbouw van het vwo. In het algemeen hebben we geen problemen beschreven die ook al in de recente leerboeken biologie, natuurkunde en scheikunde ter sprake komen; in de toelichtingen bij de problemen aangeduid als 'de leerboeken' (zie Biezeveld & Mathot, 1990; Landelijke Pedagogische Centra, 1994; Middelink, 1990; Oskamp, Van Bekkum & Groeman, 1990; Reiding, Franken & Kabel-van den Brand, 1993, 1994; Verkerk e.a., 1992).

Thema 'zien met twee ogen'

Onderzoeker en docenten geven bij het thema 'zien met twee ogen' een aantal suggesties voor problemen c.q. opdrachten voor de subthema's 'diepte zien', en 'coördinatie en fusie' (tabel 4.4).

Subthema 'diepte zien met twee ogen'

Diepte zien we op veel manieren: door perspectief, schaduwwerking, bewegingsparallax, afdekkende beelden, atmosferische verwazing, enzovoort. Diepte zien we ook door de binoculaire parallax. In dit laatste geval spreekt men van het stereoscopisch dieptezien, dat berust op het verschilzicht tussen linker en rechter oog.

De precisie waarmee stereoscopisch diepte wordt waargenomen, neemt snel af met de afstand; voorbij 100 meter heeft het in feite geen betekenis meer. Stereoscopisch zien is in het dierenrijk van vitaal belang om bijvoorbeeld met precisie een prooi te kunnen bespringen of een tak te kunnen grijpen. In de leerboeken komt veelal alleen stereoscopisch zien ter sprake. In de volgende opdracht besteden we aandacht aan een ander aspect van het stereoscopisch zien, namelijk de stereodetectie.

Suggestie voor een opdracht

Met een dunne zwarte viltstift maken de leerlingen op een blad papier een vlak (circa 5 x 5 cm) bestaande uit een willekeurig patroon van stippen. Na kopiëren van dit vlak hebben ze twee gelijke achtergronden verkregen. Vervolgens tekenen ze bijvoorbeeld een vlinder met behulp van hetzelfde stippenpatroon. Ook de vlinder wordt gekopieerd. Op elke achtergrond plakken de leerlingen een vlinder, zodanig dat de beelden ten opzichte van elkaar ongeveer 1 mm zijn verschoven. Daarna worden de achtergronden met de vlinders gekopieerd. Bij een goede uitvoering is de vlinder op geen van de platen

meer te zien, dus gecamoufleerd. De beelden worden nu met enige tussenruimte naast elkaar op een stuk karton geplakt en met een stereoscoop bekeken. Leerlingen kunnen beschrijven welke betekenis deze vorm van stereozien voor een roofdier kan hebben.

Informatie voor de docent

Een ideaal gecamoufleerde vlinder op een boomstam zal met geen van beide ogen zijn te zien. Omdat de vlinder altijd iets dichterbij ons oog is dan de boomstam, is er wel een stereoscopisch verschil. De vlinder die we met elk oog apart niet kunnen waarnemen, kunnen we dankzij het stereoscopisch verschil tussen de twee onzichtbare beelden, met twee ogen wel zien. De oorzaak is dat in de twee netvliesbeelden het camouflagepatroon van de vlinder op verschillende posities ten opzichte van de achtergrond wordt geregistreerd. Dit stereoscopische percept wordt vervolgens in de hersenen tot één vlinderbeeld geïntegreerd. Bij de opdracht maken de leerlingen een zogenaamd random-dot- of spikkelpatroonstereogram. De docent kan de achtergronden ook kant en klaar aanbieden en de leerlingen vragen camouflagefiguren te maken. Uit de opdracht blijkt dat het niet nodig is eerst vormen te zien alvorens diepte te zien; de getekende structuur van de vlinder is geheel identiek aan die van de achtergrond. Een andere mogelijkheid voor een opdracht is het aanbieden van 3D-plaatjes. In de medische praktijk worden random-dot-stereogrammen gebruikt om bij kinderen te testen of beide ogen tot goede samenwerking in staat zijn. Anders gezegd: dat niet één van beide ogen zich tot een 'lui oog' aan het ontwikkelen is.

Subthema 'coördinatie en fusie'

Bij het bekijken van voorwerpen zijn de oogbewegingen van beide ogen gecoördineerd. Bij het zien in de verte lopen de oogassen (vrijwel) evenwijdig. Op afstanden binnen de vijf meter convergeren deze en wel maximaal op de afstand van het nabijheidspunt.

Wanneer we een voorwerp fixeren, worden er op de netvliezen twee verschillende beelden gevormd, die in de hersenen als één worden waargenomen (fusie). De netvliesbeelden van linker en rechter oog verschillen weinig, daarom zijn ze niet afzonderlijk waar te nemen. Fusie is onmogelijk wanneer de beelden teveel verschillen of wanneer de beelden op de netvliezen van beide ogen ten opzichte van elkaar teveel zijn verschoven. In de leerboeken is de werking van een prisma - lichtbreking, kleurschifting enzovoort - beschreven. Ook wordt aandacht besteed aan de optische baan. Daardoor kunnen de leerlingen de volgende opdrachten uitvoeren.

Suggesties voor opdrachten (1)

Wanneer leerlingen bijvoorbeeld een wandklok op een lokaal muur vanaf de tegenoverliggende kant van het lokaal bekijken, terwijl ze voor één oog een prisma houden, kunnen ze twee proeven doen.

Voor de eerste proef zijn twee leerlingen nodig. De waarnemer kijkt naar het linker oog van de proefpersoon, die met dit oog de klok fixeert terwijl hij het rechter oog gesloten houdt. Vervolgens houdt de proefpersoon een prisma voor het linker oog, bijvoorbeeld eerst met de top naar de neuskant gericht, daarna naar de slaapzijde. De waarnemer registreert de reactie van het oog achter het prisma. Bij de tweede proef kijken de leerlingen met beide ogen naar de klok, terwijl ze zelf voor het linker oog een zwak prisma schuiven, met de top gericht naar de neuskant. Daarna herhalen ze deze waarneming met prisma's van oplopende sterkte, terwijl ze met het rechter oog de klok blijven fixeren. De leerlingen proberen de waargenomen verschijnselen te verklaren.

Informatie voor de docent

Om het beeld van de klok op de gele vlek te houden zal het oog achter het prisma - gezien het verloop van de lichtstralen door een prisma - onmiddellijk naar binnen draaien.

Bij de tweede proef blijven de leerlingen met een zwak prisma - als gevolg van fusiereflexen - één klok zien. Fusiereflexen zijn complexe mechanismen die hun oorsprong vinden in hogere zintuigcentra. Door fusie fungeren beide ogen als een 'dubbeloog', terwijl tevens diepte zien mogelijk is. Convergentie is een aspect van fusie. Door convergentie kunnen leerlingen de neiging tot het verbreken van de fusie van beide netvliesbeelden voorkomen. Bij het toepassen van sterkere prisma's schiet de convergentie op een gegeven moment tekort en wordt de fusie verbroken. Als ze met het rechter oog de klok blijven fixeren, zal het linker oog weer terug schieten. Het netvliesbeeld verschuift naar de slaapkant van het netvlies - links van de gele vlek. Men ziet dan een dubbelbeeld waarbij

de 'rechter klok' iets minder scherp is door de prismawerking.

Suggestie voor een opdracht (2)

Leerlingen bekijken met beide ogen een op tenminste 5 m afstand geplaatste brandende kaars of een lampje. Voor het ene oog - bijvoorbeeld het linker - houden ze een rood glas voorzien van evenwijdige groeven of ribbels. Ze houden het glas zodanig dat de ribbels horizontaal lopen. De leerlingen proberen een verklaring te vinden voor het feit dat er geen beeldfusie optreedt. Vervolgens verklaren ze de plaats van de rode streep ten opzichte van de kaarsvlam. Ze kunnen verschuivingen van de rode streep proberen te verklaren wanneer ze - naar de kaarsvlam kijkend - het hoofd voorover en achterover buigen. Tot slot kunnen ze ook bij deze proef de werking van een prisma waarnemen door er een voor het rechter oog te houden.

Informatie voor de docent

Het experiment berust op de zogenaamde proef van Maddox, die in de oogheelkunde gebruikt wordt om de ruststand van de oogassen te bepalen. Het beeld van de kaarsvlam verandert voor het linker oog in een rode streep, een verticale bij horizontaal gehouden ribbels en omgekeerd. De ribbels werken als cylinderlenzen. Oorspronkelijk werd de proef van Maddox gedaan met enkele in een frame gevatte parallel lopende glazen cilindertjes. Hoe fijner de structuur van de ribbels is, hoe smaller en duidelijker streep. Overigens lukt de proef natuurlijk ook met ongekleurd glas of met een andere kleur dan rood. Leerlingen kunnen zich behelpen met een - eventueel met glasverf gekleurde - glazen roerstaaf. De beelden op het linker en rechter netvlies zijn zo verschillend dat fusie ervan in de hersenen niet mogelijk is. Wanneer de oogassen evenwijdig lopen, zal de rode streep door de kaarsvlam lopen. De leerlingen zullen opmerken dat streep en kaarsvlam niet continu in beeld zijn. Nu eens zien ze de vlam, dan weer de streep en dan weer beide. Dit verschijnsel heet binoculaire rivaliteit: linker en rechter oog zijn afwisselend dominant. Binoculaire rivaliteit is ook goed zichtbaar te maken met behulp van een stereoscoop. Als object dienen twee kruisende strepenpatronen, bijvoorbeeld een patroon van evenwijdige strepen die voor het linker oog van rechtsboven naar linksonder lopen en voor het rechter oog tegengesteld.

Ruststandafwijkingen van oogassen komen vrij vaak voor, vooral in het horizontale vlak. Wanneer bij leerlingen de oogassen in ruststand enigszins divergeren, dan zal - met het testglas voor het linker oog - de gekleurde streep rechts van de kaarsvlam staan en wel verder bij grotere divergentie. Bij convergerende oogassen staat de rode streep ten opzichte van de kaarsvlam aan de kant van het door het testglas bedekte oog, in dit geval dus links. Dit verschijnsel is gemakkelijk te verklaren met behulp van de afbeeldingen van de optische banen in de leerboeken. Bij leerlingen met een ruststandafwijking van de oogassen is het gezichtsvermogen niet gestoord omdat de netvliesbeelden van linker en rechter oog door convergentie op corresponderende netvliesplaatsen vallen. Standsafwijkingen van de oogassen in verticale richting zijn zeldzaam maar hinderlijk.

Bij bewegingen van het oog verschuift de gekleurde streep in tegengestelde richting. Bij voorover buigen van het hoofd gaan de oogassen enigszins divergeren en bij achterover buigen convergeren. Met behulp van een prisma kunnen de leerlingen de verplaatsing van de gekleurde streep (gedeeltelijk) compenseren. Ze kunnen hiervoor een verklaring geven.

Suggestie voor een opdracht (3)

De docent kan de leerlingen vragen de volgende verschijnselen te verklaren. Bij een patiënt met eenzijdige staar wordt de troebele lens verwijderd, het oog wordt dan sterk verziend. Het andere oog is normaal. Met een lens van +12 D voor het geopereerde oog ziet de patiënt uitstekend. Het probleem is echter dat dit alleen het geval is als hij het andere oog afdekt. Als hij dit niet doet, ziet hij dubbel. Met een contactlens of wanneer zijn ooglenzen vervangen zou zijn door een intra-oculaire kunstlens, zou hij met twee ogen uitstekend kunnen zien. Ditzelfde is het geval bij patiënten die aan beide ogen zijn geopereerd en een staarbril dragen met twee glazen van +12 D. Het scherp zien met afzonderlijke ogen is blijkbaar niet voldoende om met twee ogen tegelijk goed te kunnen zien.

Informatie voor de docent

Gezien hun ervaringen met de proef van Maddox zullen leerlingen wel op het idee komen dat het dubbelzien het gevolg is van een aanzienlijk verschil in netvliesbeelden, in dit geval in grootte.

Wanneer de ooglenzen bij staar - cataract of grauwe staar - moet worden verwijderd, ontstaat een zogenaamd afaak of lensloos oog. Dit oog is sterk verziend. De afwijking kan gecorrigeerd worden met een brillenglas, contactlens

of - tegenwoordig meestal - een intra-oculaire kunstlens. De corrigerende lens vormt met het hoornvlies een nieuw optisch systeem. De beeldvergroting is afhankelijk van de plaats van het knooppunt - het optisch centrum - van dit systeem. Hoe verder dit naar voren komt te liggen, hoe meer beeldvergroting er optreedt. Deze beeldvergroting is de voornaamste oorzaak van problemen bij de correctie van een eenzijdige lensloosheid op grond van het optreden van een grootteverschil tussen de netvliesbeelden - aniseikonie - van beide ogen (a: zonder; iso: gelijk; eikos: beeld, dus 'zonder gelijke beelden'). De eenzijdige staarbril is de ongunstigste oplossing. Het beeldgrootteverschil bedraagt daarbij ongeveer 30%. Een dergelijk verschil wordt niet verdragen omdat versmelting van twee zo sterk in grootte verschillende beelden niet mogelijk is en er dubbelzien optreedt. De contactlens geeft een beeldgrootteverschil van 5-10% wat minder problemen geeft. De gunstigste oplossing is een intra-oculaire lens. In het verleden plaatste men dergelijke lenzen in de voorste oogkamer, onder meer de zogenaamde iriscliplens van Binkhorst. Het beeldgrootteverschil bedraagt bij deze lens slechts 1-2% en veroorzaakt geen moeilijkheden bij de versmelting van de beelden van beide ogen. De tegenwoordig meestal toegepaste 'achterste oogkamerlens' bevindt zich op de plaats van de oorspronkelijke ooglens en veroorzaakt geen verschil in beeldgrootte meer.

Deze probleemtaak sluit aan bij het nieuwe chemie-examenonderwerp 'toepassingen van polymeren'. Kunstlenzen zijn opgebouwd uit polymeren. De harde lens bestaat uit polymethylmethacrylaat. Een nieuwe ontwikkeling is de vouwlens, een flexibele lens die via een kleine opening in het harde oogvlies in het kapsel van de verwijderde troebele lens kan worden gebracht en zich daar ontvouwt. Er zijn verschillende soorten vouwlens, zoals de acryllens, de siliconenlens en de hydrogellens. Belangrijk bij de toepassing van polymeren bij kunstlenzen is het verband tussen structuur en eigenschappen, zoals doorzichtigheid en flexibiliteit. Tevens streeft men ernaar dunnere intra-oculaire lenzen te produceren door de brekingsindex ervan te vergroten.

Deelonderwerp 'pupilreflex'

Thema 'pupildiameter'

Onderzoeker en docenten kozen bij dit thema de volgende subthema's: 'pupildiameter en beeldkwaliteit' en 'pupildiameter en licht' (tabel 4.4).

Subthema 'pupildiameter en beeldkwaliteit'

Pupilvernauwing als reactie op licht - overigens ook op accommodatie - schermt de scheef invallende randstralen af waardoor de beeldscherpte toeneemt. In de leerboeken wordt de pupilreactie op licht beschreven. Tevens komen in deze boeken onderwerpen als diafragmawerking en randstralen, sferische en chromatische aberratie en buiging ter sprake.

Suggesties voor opdrachten

De leerlingen gaan na wat de invloed van de pupildiameter is op de scherptediepte. De proefpersoon houdt terwijl hij in de verte kijkt, een (microscoop)diafragma met een diameter van 4 mm voor één oog, het andere oog is gesloten. De waarnemer bepaalt met een voorwerp - bijvoorbeeld een potlood - op welke afstand de proefpersoon - terwijl deze in de verte blijft kijken - dit voorwerp nog scherp ziet. Vervolgens bepaalt de waarnemer deze afstanden wanneer de proefpersoon het diafragma geleidelijk verkleint tot ongeveer 2 mm. Vervolgens kan de waarnemer de proef herhalen, terwijl hij de proefpersoon een voorwerp op 1 m afstand laat fixeren. Leerlingen die met een bril goed zien, kunnen de proef uitbreiden door zonder bril door een diafragma of een kartonnetje met een opening van ongeveer 1 mm diameter te kijken om te ervaren dat de structuur van brekende media geen afwijkingen vertoont: ze zien namelijk scherp, wat niet het geval zou zijn als de brekende media troebelingen vertoonden. Normaal ziende leerlingen kunnen deze proef uitvoeren terwijl ze een positieve lens voor hun oog houden.

Informatie voor de docent

Ook bij het optimaal gecorrigeerde en scherp gestelde oog is de beeldkwaliteit op het netvlies verre van volmaakt. Het scherpste beeld wordt gevormd bij pupilgrootten tussen 2 en 3 mm, dan wordt namelijk een optimaal compromis bereikt tussen buiging en aberraties. Bij nog kleinere pupildiameter - alleen te bereiken met een diafragma - neemt de beeldkwaliteit af door buiging. Bij grotere pupillen doen - bij gebruik van wit licht - chromatische beeldfouten, sferische aberratie en onregelmatigheden in de lens de beeldkwaliteit achteruit gaan.

De scherptediepte van het oog houdt in dat wanneer het oog een zeker punt in de ruimte scherp ziet, het een zeker gebied daarvoor en daarachter ook nog scherp ziet. Bij het bekijken van een voorwerp kunnen nooit alle voorwerpspunten tegelijk een scherp beeldpunt op het netvlies vormen. Dit geldt vooral voor de randstralen. Er ontstaat een cirkelvormig schijfje op het netvlies waarvan de diameter evenredig is met de pupildiameter. Deze onscherptecirkel of verstrooiingscirkel die op het netvlies wordt gevormd wanneer beeldpunten niet op het netvlies vallen, wordt pas vanaf een zekere grootte waargenomen en is dan hinderlijk. De scherptediepte hangt af van de pupildiameter. Bij een gemiddelde pupildiameter van 4 mm ziet men naar oneindig kijkend nog scherp vanaf ongeveer 3.5 m en naar een voorwerp op 1 m afstand kijkend, ziet men nog scherp tussen 1.4 en 0.8 m. Bij een pupildiameter van 2 mm ziet men naar oneindig kijkend nog scherp vanaf 2.3 m en op 1 m van 1.8 tot 0.7 m. Bijziende leerlingen zonder bril zullen bij het kijken naar een leeskaart constateren dat de letters door een kleine opening scherper worden gezien. De beeldscherpte verbetert doordat door de kleine opening - een zogenaamde stenopeïsche opening - de randstralen van de invallende lichtbundel worden afgeschermd. In de kliniek wordt de stenopeïsche opening gebruikt om snel te kunnen vaststellen of onscherp zien wordt veroorzaakt door een - nog niet geheel gecorrigeerde - brekingsafwijking, door troebelingen in de lens of het glasvocht of afwijkingen in het netvlies of de visuele baan. In de laatste gevallen zal de gezichtsscherpte bij gebruik van een stenopeïsche opening niet toenemen.

Een geringe graad van bijziendheid kan enigszins worden gecompenseerd door de ogen vrijwel dicht te knijpen, vandaar de naam 'myopie', afgeleid van het Griekse muoo, het zich sluiten van de ogen. Hierdoor wordt de verstrooiingscirkel op het netvlies kleiner.

Subthema 'pupildiameter en licht'

Als gevolg van de vorige opdracht kan de leerling de indruk krijgen dat de belangrijkste functie van de pupil is het onderdrukken van aberraties en het opvoeren van de scherptediepte. De vraag zou dan kunnen rijzen waarom de pupildiameter geen vaste waarde heeft, bijvoorbeeld van 2.5 mm. Eigenlijk moeten we de pupildiameter en de gevoeligheid van het netvlies tegen elkaar afwegen.

Suggestie voor een opdracht (1)

De docent kan de leerlingen vragen de verschillen in functie van staafjes en kegeltjes te noteren. Vervolgens kunnen de leerlingen nagaan of de in de schemer optredende pupilverwijding nadelig is voor het zien. Ten slotte kunnen ze nagaan of pupilvernauwing bij het zien bij helder zonlicht het zien nadelig beïnvloedt.

Informatie voor de docent

Bij het zien in de schemer maken we gebruik van het gevoelige staafjessysteem, de 'grofkorrelige zwart-witfilm' (zie ook 'Licht en netvlies' onder 'Suggesties voor andere probleemtaken'). Een wijde pupil laat zoveel mogelijk licht door. Met verminderde scherptediepte hoeven we geen rekening te houden, omdat we met de staafjes toch niet scherp kunnen zien. Een wijde pupil bij het zien bij helder zonlicht - met de kegeltjes, de minder gevoelige 'fijnkorrelige kleurenfilm' - zou aanleiding geven tot overbelichting van het netvlies. Pupilvernauwing gaat overbelichting tegen en laat bovendien de scherptediepte toenemen.

De leerlingen kunnen bij hun medeleerlingen de pupilreacties op licht (en ook op accommodatie) waarnemen. Het is echter ook mogelijk de eigen pupilreactie op licht waar te nemen.

Suggestie voor een opdracht (2)

Leerlingen kunnen pupilvernauwing van het eigen oog waarnemen door voor het ene oog bijvoorbeeld een koffiebekertje te houden met in de bodem een opening met een diameter van 1-1.5 mm. Het andere oog sluiten ze enkele seconden en doen het daarna open. Ze proberen de waargenomen verschijnselen

te verklaren.

Informatie voor de docent

In de schoolboeken wordt meestal geen aandacht besteed aan het gekoppeld zijn van de pupilbewegingen van beide ogen. Wanneer we één oog met de hand afdekken, dan verwijdt de pupil van dit oog zich en na enige tijd zal de pupil van het niet afgedekte oog zich ook iets verwijderen (de zogenaamde consensuele of indirecte lichtreactie). Bij de opdracht zal de pupil van het oog achter het koffiebekertje - vanwege de geringe hoeveelheid licht die in dit oog valt - zich duidelijk verwijderen en daarna weer nauwer worden als reactie op de pupilvernaauwing ten gevolge van het weer openen van het andere oog. Dit is te zien aan het kleiner worden van de lichtvlek in het bekertje.

Suggestie voor een opdracht (3)

Eén van de belangrijkste functies van de pupil is het voorkomen van netvliesverbranding bij het kijken in de zon. Bij het kijken in de zon is de pupil maximaal vernauwd en heeft een diameter van ongeveer 2 mm. De temperatuurstijging van het netvlies blijft dan beperkt tot ongeveer 3 graden. De leerlingen kunnen nagaan wat er zou gebeuren als ze met een maximaal verwijde pupil - met een diameter van ongeveer 8 mm - in de zon zouden kijken.

Informatie voor de docent

De pupil - met een gemiddelde diameter van 4 mm - dient als diafragma. Afhankelijk van de op het oog vallende lichtstroom, varieert de pupildiameter reflexmatig van 2-8 mm. Bij een maximaal verwijde pupil is de oppervlakte daarvan dus toegenomen met een factor 16. Het resultaat hiervan is een 16-voudige verandering in retinale verlichting. Deze verandering kan de 10¹⁰-voudige verschillen in dag-nacht helderheid slechts voor een klein deel opvangen. De aanpassing aan het lichtniveau (donker/lichtadaptatie) moet daarom voor een groot deel van gevoeligheidsveranderingen in het netvlies komen, waaronder de overschakeling van kegeltjes- op staafjeszien. De pupilreactie is wel van cruciaal belang om thermische schade tegen te gaan op een zonnige dag. Bij een 2 mm wijde pupil en een hoogstaande zon stijgt bij korte fixatieduur de temperatuur van het netvlies in het zonsbeeld al 2 à 3 graden. Bij een maximaal verwijde pupil kan de netvliestemperatuur stijgen tot ongeveer 50 graden met als gevolg netvliesverbranding.

Deelonderwerp 'zien van kleuren'

Onderzoeker en docenten kozen bij dit deelonderwerp de volgende onderdelen: 'kleurenzien' en 'kleurenblindheid' (tabel 4.4).

Thema 'kleurenzien'

In de leerboeken komen inhouden ter sprake als 'spectrum' en 'golflengte en kleur'. Bij de eerste opdracht gaat de aandacht uit naar pigmentkleuren, bij de tweede naar gekleurde lichtbronnen. Het kleurenzien is in beide gevallen natuurlijk hetzelfde, maar de manier waarop verfstoffen en kleurfilters het spectrum inperken is duidelijk verschillend.

Subthema 'kleuren sorteren'

Suggestie voor een opdracht

De docent kan de leerlingen een aantal kleurmonsters op een tafel zodanig laten sorteren dat op elkaar lijkende kleuren vlak bij elkaar liggen. Hij geeft hen een aantal verschillende pasteltinten - dus met de minste verzadiging - en grijs. De meer verzadigde - 'zuiverder' - kleuren en wit en zwart krijgen de leerlingen nog niet. De leerlingen moeten beginnen met de pasteltinten in een kring te leggen. Het overblijvende grijs zullen ze waarschijnlijk - als noodoplossing - in het midden van de kring leggen. Daarna deelt de docent witte en zwarte kleurmonsters uit en vraagt de leerlingen waar deze geplaatst moeten worden. Vervolgens gaan de leerlingen na waar ze de meer verzadigde tinten kunnen plaatsen.

Informatie voor de docent

Grijs tinten en wit en zwart vormen de zogenaamde achromatische kleuren, die alleen in helderheid verschillen. Wit heeft een maximale en zwart een minimale helderheid. Chromatische kleuren - de 'eigenlijke' kleuren, de kleuren van het zichtbare spectrum - verschillen zowel in tint als in helderheid. Geel kan met een breed spectraal gebied

- van het groen tot in het rood - worden geproduceerd en zal dus helderder zijn dan blauw of groen, die alleen maar met een smal golfsgebiedje kunnen worden aangemaakt. De tint varieert met het golflengtegebied. Zo bevindt zuiver blauw - zonder sporen van rood of groen - zich in het spectrum bij ongeveer 475 nm. Ten slotte variëren chromatische kleuren ook nog in verzadiging. Verzadiging is de zuiverheid van een kleur. Hoe meer grijs of zwart, of wit door een kleur is gemengd, hoe minder verzadigd deze is.

Bij de opdrachten kunnen de leerlingen 'kleurenwaaiers' gebruiken zoals deze in verfwinkels zijn te vinden. Bij de opdracht hebben de leerlingen eerst een tweedimensionale kleurenruimte geconstrueerd. Als de docent ook wit en zwart heeft uitgedeeld, ontkomen ze er niet aan ook nog een derde dimensie aan te boren. Dan kunnen ook de meer verzadigde kleuren hun plaats krijgen. De leerlingen kunnen tevens een 'kleurenstandaard' maken. Een verticale spil geeft de helderheid aan, beneden zwart, boven wit. Rondom deze spil kunnen ze repen papier bevestigen met daarop geplakt de verschillende kleuren. Hoe verder de kleuren van de spil afliggen, hoe meer verzadigd ze zijn. Helderder kleuren liggen dicht bij de top van de spil.

Echte kleurenblindheid is zeldzaam, maar min of meer ernstige kleurzienafwijkingen zijn heel gewoon (ongeveer 8 % van de mannen en 0.4 % van de vrouwen). In bijna elke klas vinden we wel een leerling die de bovenstaande opdracht met afwijkend resultaat zal vervullen. Omdat matige kleurzienstoornissen het meest frequent zijn, ziet een dergelijke leerling meestal wel kans om de verzadigde kleuren goed te rangschikken.

Subthema 'kleuren mengen'

Suggesties voor opdrachten

Leerlingen kunnen combinaties van gekleurde filters voor een halogeenlamp houden om waar te nemen welke golflengten worden geabsorbeerd. Verder kunnen ze een roodfilter op een papier met lijnen of letters met verschillende kleuren leggen, om te zien welke kleuren verdwijnen. Ook kunnen ze experimenteren met een proefopstelling bestaande uit twee halogeenlampen of projectoren met respectievelijk een rood- en een groenfilter, of andere filtercombinaties. Ze kunnen dan de kleuren op een scherm mengen en de verschillen zien met de eerstgenoemde toepassingen van gekleurde filters.

Informatie voor de docent

De leerlingen tonen het verschil aan tussen subtractief en additief mengen. Een derde vorm van kleurmenging is de partitieve menging - in feite identiek aan additief mengen - in de schilderkunst gerepresenteerd door het 'pointillisme' (Seurat). Leerlingen kunnen hiermee eventueel experimenteren. Ook het principe van de kleurentelevisie en de kleurenfilm berust hierop. Het subtractief mengen kan ook worden aangetoond door een combinatie van filters, waarbij verlies van een stuk spectrum optreedt. We merken op dat het mengen van verf in de regel een soort mengsel van subtractief en additief mengen is.

Thema 'kleurenblindheid'

Subthema 'iedereen is kleurenblind'

Kleurzienafwijkingen beperken zich niet tot ongeveer 8% van de mannelijke bevolking en 0.4% van de vrouwelijke. Onder bepaalde omstandigheden is iedereen kleurenblind.

Suggestie voor een opdracht

De docent laat de leerlingen een 'luchtopname' tekenen van een zee met witgekuifde golven. In het water drijven gele en oranje 'reddingbootjes' (ongeveer 6 bij 3 mm). De leerlingen beschrijven hun waarnemingen bij het vergroten van de afstand tussen oog en tekening en proberen aan de hand van de waarnemingen praktijkvoorbeelden te noemen.

Informatie voor de docent

Wanneer de tekening van een grotere afstand wordt bekeken, zullen de gele bootjes niet meer worden gezien. Ze vallen weg tegen de witte koppen van de golven. Een goede kleurenonderscheiding vereist een minimale duur en grootte van de visuele stimulus. De oorzaak van het verschijnsel is de schaarse verdeling van de blauwgevoelige kegeltjes; de dichtheid hiervan wordt geschat op slechts 5 % van de totale hoeveelheid kegeltjes. Het blauwe systeem is daardoor vooral afhankelijk van ruimtelijke stimuli. Voorwerpen met kleuren als blauwgroen en geel zijn al moeilijk te onderscheiden bij een gezichtshoek van 10 boogminuten, terwijl rode of groene voorwerpen nog herkend worden bij gezichtshoeken van minder dan 5 boogminuten. Dit verschijnsel lijkt op een zeldzame vorm van kleurenblindheid, de zogenaamde geel-blauw blindheid. Het genoemde verschijnsel treedt echter alleen op bij kleine veldjes, maar dan wel bij iedereen.

In de praktijk wordt steeds meer gebruik gemaakt van oranje, bijvoorbeeld bij de jassen van de 'klaarovers' en bij politievoertuigen (Boogaard & Vos, 1989).

Suggesties voor andere probleemtaken

De suggesties voor andere probleemtaken betreffen onderwerpen die buiten de deelonderwerpen in tabel 4.4 vallen. Volgens onderzoeker en docenten zijn deze probleemtaken bijvoorbeeld geschikt om deel uit te maken van een dossierwerkstuk.

Het gestabiliseerde beeld

Leerlingen vragen zich soms af waarom structuren in het oog vóór het netvlies zoals bloedvaten, het beeld niet verstoren en dus kennelijk niet worden opgemerkt.

Suggesties voor opdrachten

De leerlingen laten in het donker een smalle lichtbundel - bijvoorbeeld van een 'penlight' - vanaf de slaapzijde van bijvoorbeeld het rechter oog scheef in de pupil vallen. Ze moeten dan voor zich uit een beeld zien dat onmiddellijk weer verdwijnt. Vervolgens roepen ze het beeld weer op door met het lampje kleine bewegingen te maken. Ze moeten aangeven wat het beeld voorstelt en of ze daarin een bepaalde structuur herkennen en de plaats hiervan aangeven.

Leerlingen houden voor elk oog een doorgesneden pingpongbal - bij voorkeur een nieuwe, omdat het oppervlak 'structuurloos' moet zijn - en staren ernaar.

Informatie voor de docent

Zoals uit de bouw van het netvlies blijkt, passeert het licht diverse lagen voordat het de lichtgevoelige cellen treft. Structuren die vóór de lichtgevoelige cellen liggen, bevinden zich ten opzichte hiervan altijd op vaste plaatsen en geven zogenaamde gestabiliseerde beelden, die we niet waar kunnen nemen. Het bestaan van dit mechanisme is onder meer aangetoond door één oog van een proefpersoon te voorzien van een contactlens waaraan een microprojector is bevestigd. Aan de achterkant van de projector bevindt zich het voorwerp dat op het netvlies geprojecteerd wordt. Dit beeldje bevindt zich steeds op dezelfde plaats van het netvlies. Eerst wordt het duidelijk gezien maar na enkele seconden is het verdwenen, tenzij de contactlens ten opzicht van het hoornvlies beweegt. Voorgaande betekent dat adaptatie optreedt van het netvlies aan ongewijzigd blijvende prikkels. Onze ogen maken - zelfs als we denken dat we ze stil houden - voortdurend een soort trillende beweging, waardoor elk gebiedje van het netvlies steeds andere prikkels krijgt. Dit mechanisme zorgt ervoor dat we *vormen* kunnen blijven zien. Wisselende prikkels leiden vaak tot constante gewaarwordingen en constante prikkels tot 'gewiste' gewaarwordingen. Bij sensorische adaptatie in engere zin - een ander mechanisme - vermindert de gevoeligheid voor de *intensiteit* van prikkels naarmate we er langer mee worden geconfronteerd.

In de opdracht wordt het penlicht op de periferie van het netvlies afgebeeld en vandaaruit gedeeltelijk herverstrooid naar andere delen van het netvlies. Door de bewegingen van het lampje verplaatst zich het centrum van de herverstrooiing wat, en bewegen dus de schaduwen van de voor het netvlies liggende bloedvaten. De bloedvatschaduwen zijn even zichtbaar en verdwijnen daarna. Door de bewegingen van het lampje veroorzaakt het strooi-licht bewegende bloedvatschaduwen op het netvlies die door de leerlingen worden waargenomen, de beeldstabilisatie is doorbroken. Aan de rechterkant van het beeld zien ze een aantal grote bloedvaten bij elkaar komen. Dit

is de plaats van de blinde vlek, die in het netvlies van het rechteroog aan de linkerkant ligt. Bij het staren naar de pingpongballen zal het beeld langzamerhand verdwijnen, waarna een 'grijze leegte' ontstaat.

Complementaire kleuren

In de leerboeken wordt aandacht besteed aan complementaire kleuren en worden diverse leerlingenproeven beschreven. Het volgende experiment is zeer geschikt als demonstratieproef.

Suggesties voor een opdracht

De docent maakt - met behulp van filters of glasverf - een dia met drie horizontale banen, van boven naar beneden (blauw)groen - zwart en geel. De zwarte baan heeft in het midden een wit fixatiepunt. De docent laat de leerlingen de geprojecteerde dia enige tijd fixeren, waarna hij deze snel weghaalt, zodat het scherm wit wordt.

Informatie voor de docent

Bij de uitvoering van bovengenoemde proef zien de leerlingen op het scherm de Nederlandse vlag in een negatief nabeeld - in onverzadigde kleuren - verschijnen. Negatieve nabeelden hebben de tegengestelde helderheid en de complementaire kleur van de oorspronkelijke stimuli. De docent kan de leerlingen vragen hoe de proef moet worden ingericht om andere vlaggen op te roepen. Het experiment boekt bij studenten oogheelkunde aan de Universiteit Utrecht veel succes (Prof. Van Norren).

Contrast

Bij het zien van contrasten is het zogenaamde helderheidscontrast bekend: een grijs vlak komt tegen een zwarte achtergrond veel helderder uit dan tegen een witte achtergrond. Dit helderheidscontrast heeft ook een chromatische parallel. Daarover gaat de volgende opdracht.

Suggestie voor een opdracht

De docent laat de leerlingen twee identieke grijze vlakjes tekenen. Het ene vlakje voorzien ze van een blauwe en het andere van een gele achtergrond. De leerlingen moeten hun waarnemingen trachten te verklaren.

Informatie voor de docent

Het vlakje op de blauwe achtergrond lijkt helderder als gevolg van het helderheidscontrast. Er is ook verschil in waargenomen kleur. Het vlakje met de blauwe achtergrond lijkt een beetje geelachtig en het vlakje op de gele achtergrond ziet er blauwig uit. We spreken van een gelijktijdig kleurcontrast. De tinten neigen ertoe hun complementaire kleur op te roepen in aangrenzende gebieden.

Visuele pigmenten

In de leerboeken komt onder meer de synthese van rodopsine ter sprake en het verband met vitamine-A. Tevens wordt het onderwerp stereo-isomeren uitvoerig behandeld.

In het netvlies bevindt zich een aantal visuele pigmenten. Eén daarvan is het rodopsine in de staafjes. Bij de synthese hiervan speelt vitamine-A een rol. Gebrek aan vitamine-A kan nachtblindheid veroorzaken. In Nederland ontstaat nachtblindheid niet door vitaminegebrek maar door degeneratieve processen in het netvlies.

Behalve dat vitamine-A deel uitmaakt van het lichtgevoelige pigment, speelt het ook een rol bij de celdifferentiatie van epitheelweefsel, bijvoorbeeld van het hoornvlies, de huid en de slijmvliezen. In ontwikkelingslanden is nachtblindheid het eerste verschijnsel van vitamine-A-gebrek. Helaas blijft het daar meestal niet bij, maar ontstaan er ernstige oogafwijkingen, waarbij het gezichtsvermogen verloren gaat.

Het onderwerp vitamine-A-synthese sluit aan bij het scheikundeonderdeel configuratie-isomeren (cis-

trans isomerie).

Suggestie voor een opdracht

Leerlingen kunnen aan de hand van literatuur de visuele pigmenten bestuderen en de rol van vitamine-A bij de synthese van rodopsine tegen de achtergrond van stereo-isomerie. Tevens kunnen zij nagaan wat nachtblindheid is en welke gevolgen vitamine-A-gebrek in ontwikkelingslanden heeft.

Informatie voor de docent

Als rodopsine - waaraan 11-cis-retinal is gekoppeld - licht opvangt levert dat het kleurloze eiwit opsine en het geel gekleurde all-trans-retinal (vitamine-A-aldehyde). De reactiesnelheid van de cis-trans switch is de tot nu hoogst bekende (200 femtoseconden). Interessanter is de grote gevoeligheid van de reactie. De cis-trans overgang is zo laag-energetisch dat één 'rood' quantum al voldoende is om de reactie in gang te zetten. Lager energetisch is niet mogelijk want dan zit men op het niveau van de warmtebewegingen en hoger ook niet, omdat dan al gauw destructieve reacties optreden. Het visuele gebied is uniek omdat dit voor deze reacties het enige fysisch in aanmerking komende deel van het spectrum is en ook nog mooi samenvalt met het spectrale venster door de atmosfeer en met de piek van het zonnenspectrum.

We merken op dat bij de ontwikkeling van computers schakelen met licht - in plaats van elektronisch schakelen - wordt onderzocht. Men maakt daarbij gebruik van stereo-isomeren en schakelt van 'cis' naar 'trans' en omgekeerd.

Xeroftalmie - 'de ziekte van het droge oog' - veroorzaakt door vitamine-A-gebrek, is de belangrijkste blindheidsoorzaak in Midden- en Zuidoost-Azië en in delen van Afrika. De blindheid wordt veroorzaakt door een dubbelzijdige verwerking van (een deel van) het hoornvlies, vooral bij 2- tot 3-jarigen. Naar schatting verliezen wekelijks bijna 5000 kinderen hun gezichtsvermogen ten gevolge van vitamine-A-gebrek.

Infecties bij kinderen, zoals diarree, infecties van de bovenste luchtwegen, bronchitis en waterpokken vertonen samenhang met een daling van het retinol- en retinol bindend eiwitgehalte in het serum. Bij ondervoede kinderen kan de verlagende invloed tot verergering van de xeroftalmie.

Mazelen verloopt duidelijk ernstiger bij ondervoede kinderen bij wie de immunologische afweer verlaagd is. Bovendien daalt bij mazelen, evenals bij andere ziekten met koorts de retinolspiegel in het serum. Mazelen is de enige kinderziekte die gepaard gaat met virusinfecties van de cornea. Bestaat bij mazelen ook vitamine-A-deficiëntie dan kan volledige destructie van het oog het gevolg zijn.

Blindheid in Indonesië en Afrika wordt vaak toegeschreven aan een combinatie van vitamine-A-deficiëntie en mazelen.

In het vroege stadium van xeroftalmie is er alleen sprake van nachtblindheid. Vitamine-A vormt met specifieke eiwitten (opsinen) de lichtgevoelige kleurstoffen van staafjes en kegeltjes (rodopsine). Bij een tekort aan vitamine-A daalt de concentratie aan rodopsine waardoor zowel de prikkelrempel van de staafjes als de adaptatietijd van de staafjes en de kegeltjes stijgt. Dit uit zich klinisch in nachtblindheid en in een verlengde periode van verblindheid na het kijken in de zon. Is de regeneratie van rodopsine gestoord, dan wordt de normale lichtgevoeligheid van het netvlies niet bereikt: de donkeradaptatie is gestoord. Er treedt nachtblindheid op.

Echte nachtblindheid komt in Nederland slechts zelden voor. In de westerse wereld wordt nachtblindheid vaak als eerste symptoom gevonden bij patiënten lijdend aan een progressieve netvliesdegeneratie.

De behandeling lijkt eenvoudig: het toedienen van 200.000 IU vitamine-A, dat veelal gratis beschikbaar wordt gesteld. De praktijk is echter veel moeilijker: voor het toedienen van de vitamine-A-capsule is een infrastructuur nodig voor opsporing, diagnose, therapie en controle. Deze blijkt nog lang niet overal te functioneren, zodat xeroftalmie de belangrijkste oorzaak van blindheid bij kinderen is. Goede voedingsgewoonten en mazelenvaccinatie zouden het probleem voor een groot deel oplossen (Bloem, Schrijver & Schreurs, 1989; Limburg, 1992; Stilma e.a., 1992).

Lichtschade

Bij het subthema 'Pupildiameter en licht' hebben we al gezien dat te geconcentreerd licht op het netvlies daar - door de warmteontwikkeling - netvliesverbranding kan veroorzaken. Maar optische straling kan nog op een heel andere, meer directe manier, schade veroorzaken, namelijk door fotochemische afbraakprocessen. Men spreekt dan van lichtschade.

Suggestie voor opdrachten

Van het hele brede spectrale gebied van de zonnestraling - in feite het hele gebied van de optische straling omvattend, van 100 nm tot 1 μm - bereikt maar een klein deel de aarde. Zowel het agressieve kortgolvlige ultraviolet met een golflengte onder de 300 nm als het infrarood met een golflengte van meer dan ongeveer 1400 nm wordt uitgefilterd door de atmosfeer, respectievelijk door de ozonlaag en door waterdamp. Maar van wat overblijft van deze straling dringt nog maar een klein deel het oog binnen. Alle straling met een golflengte van minder dan circa 320 nm (ultraviolet B en C) blijft in het hoornvlies steken en kan daar een pijnlijke ontsteking geven: sneeuwblindheid, lasogen. Straling met een golflengte van ongeveer 320-400 nm (ultraviolet A) komt niet verder dan de ooglens. Straling met een golflengte van meer dan 1200 nm wordt door water geabsorbeerd. Doordat het oog voornamelijk uit water bestaat, komt deze straling niet verder dan het hoornvlies. Slechts het gebied met een golflengte tussen de 400 en 1200 nm kan dus het netvlies bereiken. Het zichtbare gedeelte van het spectrum ligt tussen 400 en 780 nm.

De docent kan de leerlingen vragen een schema van het oog te tekenen en met pijlen aan te geven welke stralingsgolflengten de verschillende delen van het oog kunnen bereiken.

Aangezien alleen straling die wordt geabsorbeerd effect kan sorteren, kan de leerling nu ook nagaan waarom en waar bijvoorbeeld een infrarood-laser van 1000 nm schadelijk kan zijn.

In de ooglens bevindt zich een geelgekleurd filter dat straling met een golflengte van minder dan 400 nm niet doorlaat, namelijk het ultraviolet en de kortgolvlige blauw, het zogenaamde verre blauw. Bij veroudering van de lens wordt deze steeds geler. De leerling kan nagaan welke gevolgen dit voor het netvlies heeft.

Een te lange blootstelling aan of een te hoge intensiteit van straling kan het oog beschadigen. We spreken dan van lichtschade. De leerling kan nagaan of 'lichtschade' alleen het optische spectrum betreft voorzover dit in het zichtbare licht ligt.

Bij fotochemische effecten kennen we positieve en negatieve. Positief is dat we dankzij de reactie van de pigmenten in het netvlies, kunnen zien. Een negatief effect is dat alle weefsel kwetsbaar is voor toxische stoffen die als gevolg van fotochemische reacties ontstaan. Bij gematigde lichtintensiteiten zorgen herstelprocessen ervoor dat er geen schade optreedt, bij hoge intensiteiten zijn deze herstelprocessen ontoereikend. Er ontstaan zogenoemde vrije zuurstofradicalen die zeer reactief en agressief zijn en de celmembranen aantasten. De radicaalreacties zijn bekend uit het scheikunde-onderwijs. Zij spelen ook een belangrijke rol bij de synthese van bepaalde polymeren. Een voorbeeld van fotochemische schade is sneeuwblindheid, een oppervlakkige ontsteking van het hoornvlies ten gevolge van kortgolvlige ultraviolette straling

(UV-B). De leerling kan nagaan waarom sneeuwblindheid eigenlijk alleen kan optreden in het hooggebergte. Een vergelijkbaar voorbeeld betreft de lasogen, die ontstaan door het zonder beschermende bril kijken in een lasboog.

Bij lichtschade aan het netvlies ligt de maximale gevoeligheid in het blauwgroene deel van het spectrum, we spreken van 'blauw licht schade'. Dit type schade treedt op bij felle lichtbronnen en bij blootstelling gedurende minuten tot uren. Een voorbeeld daarvan is de 'eclipsblindheid', die ontstaat bij het lang onbeschermd turen in de zon, zoals dit met name bij zonsverduisteringen gebeurt. Reeds Aristoteles heeft aanbevolen om bij zonsverduistering niet in de zon te kijken maar naar het spiegelbeeld van de zon in het water. De leerlingen kunnen nagaan waarom dit minder schadelijk is voor het netvlies.

Ook bij langdurige oogoperaties is in het verleden door felle verlichting schade ontstaan. De leerling kan nagaan welke kleur licht relatief veilig kan worden gebruikt bij deze operaties.

Halogeenlampen worden steeds meer als lichtbron gebruikt. Het spectrum van deze lampen is anders dan dat van gloeilampen. De leerling kan verklaren dat het in verband hiermee onverstandig is een kinderbox of wieg in de kamer onder direct halogeenlicht te zetten.

Informatie voor de docent

De bundel van de infrarode laser - nabij infrarood, onder de 1200 nm - is niet zichtbaar, maar bereikt wel het netvlies. Bij temperaturen hoger dan 41.5°C veranderen eiwitten van structuur, enzymen verliezen hun activiteit

en celmembranen worden beschadigd en de aanmaak van enzymen en van DNA stagneert. Laserlicht kan in zodanig korte flitsen worden aangeboden dat enige bescherming door de oogknipreflex en de pupilreflex - gezien de relatieve traagheid van deze reflexen - niet mogelijk is. Sneeuwblindheid treedt op in het hooggebergte, omdat daar het stralingsniveau van het UV-B hoog is en het zonlicht wordt weerkaatst door de sneeuw. Bij onbeschermde kijken naar een lasboog kan de schadedrempel al na enkele tientallen seconden zijn overschreden. Bij langdurige oogheelkundige ingrepen wordt veel licht gebruikt en liefst zo kort mogelijk. Kinderen die in een box liggen en naar een halogeenlamp kijken, zullen dit - gezien de lichtintensiteit - nooit lang doen. Er zijn echter aanwijzingen dat er in het oog fotochemische schade (blauwlichtschade) ontstaat na 5-10 minuten kijken in halogeenlicht (zie ook Van Norren, 1996).

Lasers

Het onderwerp 'lasers' komt in de leerboeken uitvoerig ter sprake. Lasers vormen een bijzonder soort lichtbronnen. In James Bond-achtige films zien we ze optreden als dodelijke of verblindende wapens, maar er zijn veel soorten lasers waarvan de meeste heel onschuldige gebruiksvoorwerpen zijn. Denk bijvoorbeeld aan de laserprinter of de laserstraal waarmee streepjescodes worden afgelezen. Het bijzondere aan lasers is vooral de scherpe bundeling van de straling en het nauwe golfgebied (monochromasie). Ook in de oogheelkunde vindt de laser verscheidene toepassingen.

Suggesties voor opdrachten

Aan de hand van literatuur - onder meer uit de leerboeken - kunnen leerlingen een overzicht maken van soorten lasers, hun eigenschappen en toepassingen in de oogheelkunde. Eventueel kunnen ze hun onderzoek uitbreiden tot toepassingen in de geneeskunde in het algemeen, in de techniek en in het dagelijks leven.

In de oogheelkunde zijn lasers niet meer weg te denken. Er is natuurlijk een duidelijk verband tussen de structuur van het oog en de mogelijkheden die de verscheidene soorten lasers bieden.

De buitenste laag van het netvlies is een pigmentlaag. Deze vormt - op de pupilopening na - een gesloten bol, die als een absorberend folie het oog als het ware inpakt. De leerlingen kunnen nagaan wat de betekenis is van deze pigmentlaag als ze denken aan het licht dat door de pupil het oog binnenkomt.

De pigmentlaag heeft ook betekenis in verband met lasers. Soms ontstaan er scheuren in het netvlies, bijvoorbeeld ten gevolge van ernstige bijziendheid of een ongeval. Zonder behandeling leiden deze netvliesscheuren tot netviesloslating doordat er vocht tussen het netvlies en de pigmentlaag komt.

Met een argonlaser kan de oogarts de netvliesscheuren - door middel van puntlasjes - weer vastzetten en zo netviesloslating voorkomen. De puntlasjes zijn kleine littekens in het weefsel ten gevolge van temperatuurverhoging. Leerlingen kunnen proberen deze temperatuurstijging te verklaren.

Met een argonlaser is het ook mogelijk lekkende bloedvaatjes achter de gele vlek dicht te schroeien. - De gele vlek moet natuurlijk zoveel mogelijk gespaard worden. De argonlaser produceert blauwe en groene stralen, met respectievelijk golflengten van 488 nm en 514 nm. Het is mogelijk straling met één van deze kleuren door middel van filters uit te schakelen. De docent kan de leerlingen vragen welke golflengte ze voor de genoemde therapie zouden kiezen en waarom.

Er zijn ook lasers waarvan de werking niet berust op temperatuurverhoging maar op het toebrengen van fotochemische schade ('lichtschade', namelijk UV-schade). De zogenaamde excimeerlaser - gebruikt om het hoornvlies 'bij te slijpen' - is een ultraviolette laser met een golflengte van 193 nm. Deze laser werkt met grote precisie, men kan er insnijdingen mee maken die slechts tienden van micrometers breed zijn. De excimeerlaser breekt het weefsel niet af, maar snijdt door fotochemische werking verbindingen in moleculen door. De docent kan de leerlingen vragen wat de voor- en nadelen zijn van een dergelijke behandeling.

Informatie voor de docent

De pigmentlaag direct achter het netvlies heeft vele functies, onder andere bij de stofwisseling, maar één ervan is het wegvangen van licht dat niet voor zien-processen wordt gebruikt en tussen of door de receptoren weglekt. Daardoor wordt vermeden dat dit licht als strooilicht overal op het netvlies terecht komt. Laserlicht dat bij netvliesloslating wordt gebruikt, wordt daardoor grotendeels in deze pigmentlaag geabsorbeerd, zodat door de temperatuurverhoging de gewenste 'puntlas' - in feite weefselnecrose en littekenvorming - optreedt. Laserlicht dat tegen het lekken van bloedvaten wordt gebruikt - onder andere bij suikerziekte - moet natuurlijk van een zodanige kleur zijn dat het door haemoglobine wordt geabsorbeerd. De gele vlek absorbeert vooral het blauw van de Argonlaser en zou daardoor onherstelbaar worden beschadigd (De Jong, 1985; Oosterhuis, 1994). Het bijslijpen van het hoornvlies lijkt een aantrekkelijke mogelijkheid om - bij forse brekingsafwijkingen - een sterke en lelijke bril overbodig te maken door de fout aan de bron weg te nemen en de lenswerking van het hoornvlies bij te stellen. Het effect op de lange duur van het bijslijpen van het hoornvlies is nog niet bekend. Het is voornamelijk een cosmetische ingreep bij een gezond oog.

Licht en netvlies

De kleurstoffen in de kegeltjes en de staafjes vangen het licht op en zetten dit via een gevoelige fotochemische reactie om in zenuwpraktoren. In het netvlies zitten als het ware twee fotografische films door elkaar heen. De gevoeligheid van een film hangt af van de korrelgrootte. Leerlingen kan worden gevraagd welke soorten films bedoeld worden, hoe 'de verdeling van de films' over het netvlies is en hoe de verhouding is van de korrelgrootte tussen beide film. Verder kunnen ze het verschil in 'werking' van de fotografische film en het netvlies proberen te verklaren.

Informatie voor de docent

De grofkorrelige 'zwart-wit film' is heel lichtgevoelig, maar geeft kleine details minder scherp weer. De grove korrel is te vergelijken met de staafjes die in groepjes geschakeld zijn op het er 'achter gelegen' neuron. De fijnkorrelige 'kleurenfilm' - het kegeltjesstelsel - is veel minder lichtgevoelig en is sterk geconcentreerd in en om de gele vlek. In de gele vlek ontbreekt 'de zwart-wit film' maar in een brede rand daaromheen overheerst deze sterk.

Het fotochemisch proces in een film is eenmalig, terwijl de kleurstoffen in de lichtgevoelige cellen zich steeds weer herstellen (zie Vos & Legein, 1989).

Bijlage 12. Resultaten van de draagvlakverkenning bij biologie-docenten

In deze bijlage geven we enkele resultaten van de raadpleging van biologiedocenten over het exemplarisch leerstofontwerp met betrekking tot het oog. De onderzoeker heeft in het kader van de NIBI-conferentie voor biologiedocenten 'Ontwikkeling in de biologie en in het onderwijs' op 17 en 18 januari 1997 te Driebergen, twee keer een workshop gehouden - met als titel 'Uitzicht en inzicht' - over dit leerstofontwerp.

De onderzoeker gaf in het programmaboekje van deze conferentie informatie over de workshop. In tabel 1 geven we een overzicht van de 'items' van deze 'informatie vooraf'.

Tabel 1: Overzicht van de 'items' in het programmaboekje over de workshop 'Uitzicht en inzicht' gehouden op de NIBI-conferentie 'Ontwikkeling in de biologie en in het onderwijs' op 17 en 18 januari 1997 te Driebergen.

- Toekomstig profiel 'Natuur en gezondheid'
- Vakinhoudelijke samenwerking en begripsontwikkeling bij leerlingen
- Vakinhoudelijke samenwerking en examenprogramma's natuurwetenschappen
- Vakinhoudelijke samenwerking en dossierwerkstuk
- Functieafwijkingen en mogelijke effecten op begripsvorming
- Leerlingenproeven

Aan het begin van de workshops legden de deelnemers op schrift een kort overzicht van onze studie over vakinhoudelijke samenwerking tussen docenten natuurwetenschappen en integratie van leerstof, de procedure voor het omgaan met probleemtaken en de leerlingenteksten bij het onderdeel 'Zien met één oog', bestaande uit twee probleemtaken, namelijk 'Scherp en onscherp zien' en 'Accommodatie'. Het aantal deelnemers aan de workshops bedroeg 47; 41 docenten die ook lesgeven aan de bovenbouw van het vwo en 6 docenten uit de onderbouw vwo/havo c.q. mavo/lbo/lhno.

Aan het einde van de workshops legde de onderzoeker de deelnemers een vragenlijst voor. De deelnemers konden de vragen - in de vorm van stellingen - scoren op een vijfpuntsschaal (zeer oneens - zeer eens).

Hieronder geven we een overzicht van de stellingen. Vanwege papierbesparing hebben we de vijf-puntsschalen en de ruimte voor opmerkingen weglaten.

Vragenlijst

Wanneer u prijs stelt op toezending van de complete tekst van het leerstofontwerp, vult u dan hieronder uw naam en adres in.

Naam: *Adres:*

Profiel van de docent

- Leeftijdscategorie
20-30 ☐
30-40 ☐
40-50 ☐
50-60 ☐
- Aantal jaren onderrichtservaring: ...
- Geeft biologie aan leerlingen van bovenbouw vwo ☐ aantal jaren ...
bovenbouw havo ☐ " " ...
onderbouw havo/vwo ☐ " " ...

- | | | | | |
|---------------------|--------------------------|---|---|-----|
| mavo | ☐ | „ | „ | ... |
| lbo/lhno | ☐ | „ | „ | ... |
| andere schoolsoort: | | „ | „ | ... |
4. Geeft ook natuurkunde in afdeling/schoolsoort:; aantal jaren: ...
5. Geeft ook scheikunde in afdeling/schoolsoort:; aantal jaren: ...

De volgende vragen betreffen vakinhoudelijke samenwerking na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid' in de tweede fase van het vwo. Met 'vakinhoudelijke samenwerking' wordt bedoeld vakinhoudelijke samenwerking in de vorm van vakkenverbinding tussen docenten natuurwetenschappen. Desgewenst kunt U opmerkingen bij de vragen maken.

Vakinhoudelijke samenwerking

1. Vakkenverbinding of een kleinschalig project is een haalbare vorm van vakinhoudelijke samenwerking
2. Vakinhoudelijke samenwerking is bij het ontwikkelen van probleemtaken c.q. onderwerpen voor een vakgrensoverschrijdend dossierwerkstuk noodzakelijk
3. Vakinhoudelijke samenwerking kan begripsvorming bij leerlingen bevorderen

Didactische benadering

1. Probleemgestuurd leren via probleemtaken is een haalbare didactische benadering
2. Vakinhoudelijke samenwerking via probleemtaken heeft een gunstige invloed op het zelfstandig leren van leerlingen (studiehuiskoncept)
3. De procedure voor het omgaan met probleemtaken is bruikbaar in de nieuwe tweede fase vwo
4. Het gebruik maken van functieafwijkingen is een zinvolle benadering bij 'het oog'
5. De benadering van 'het oog' via functieafwijkingen kan begripsvorming bij leerlingen bevorderen
6. Een benadering via functieafwijkingen c.q. pathologie lijkt ook bruikbaar voor andere onderwerpen dan het oog (te denken valt aan diabetes, nierfunctiestoelingen, syndroom van Down enzovoort)
7. In aanvulling op de reeds genoemde in vraag 6 noem ik nog de volgende onderwerpen:

Probleemtaken

1. De probleemtaken over de geometrische optica bij het oog vormen een samenhangend geheel
2. De formulering van de probleemtaken is duidelijk
3. De vormgeving van de probleemtaken - introductie-probleem-opdracht - is goed
4. Ik overweeg *het totaal* van de probleemtaken over 'het oog' in de toekomst te gebruiken
5. *Alleen invullen bij een score bij vraag 4 van 3 of lager*
Ik overweeg een *deel* van de probleemtaken over 'het oog' in de toekomst te gebruiken

Profiel van de docent

In tabel 2 geven we een overzicht van de aantallen deelnemende docenten per leeftijdscategorie en in tabel 3 van het aantal jaren onderwijservaring van docenten in de bovenbouw van het vwo en van de docenten onderbouw vwo/havo c.q. mavo, lbo/lhno. We merken op dat docenten die biologie in de bovenbouw geven, dit vak meestal ook in de onderbouw geven. We vermelden van deze docenten alleen het aantal jaren onderwijservaring in bovenbouw van het vwo.

Uit tabel 3 blijkt dat 75% van de docenten bovenbouw een leservaring heeft van meer dan vijf jaar.

Tabel 2: Overzicht aantallen deelnemende docenten per leeftijdscategorie. 'Bovenbouw': docenten die (ook) lesgeven in de bovenbouw. 'Onderbouw': overige docenten (onderbouw havo/vwo; mavo, lbo/lhno).

Leeftijd	'Bovenbouw'	'Onderbouw'
20-30	5	1
30-40	6	1
40-50	23	1
50-60	7	3
Totaal:	41	6

Tabel 3: Overzicht van onderrijverservaring van docenten bovenbouw en onderbouw.

Aantal jaren leservaring	'Bovenbouw'	'Onderbouw'
1-5	11	2
6-10	5	0
11-15	2	0
16-20	10	2
21-25	10	0
26-30	3	2
Totaal:	41	6

Enkele bovenbouwdocenten geven behalve biologie ook natuurkunde en/of scheikunde. Van hen geeft één docent natuurkunde in het vbo en scheikunde in de mavo. Drie docenten geven scheikunde, respectievelijk in de mavo, de havo en de lerarenopleiding.

Voor de gemiddelde scores per vraag van de deelnemende docenten verwijzen we naar § 4.12.1.

Bijlage 13. Resultaten van de draagvlakverkenning bij deskundigen van het planniveau

In deze bijlage geven we de resultaten van de raadpleging van deskundigen van het planniveau over het exemplarisch leerstofontwerp met betrekking tot het oog, namelijk deskundigen uit de verzorgingsstructuur, uitgevers van natuurwetenschappelijke schoolboeken en docenten in de natuurwetenschappen die deel uitmaken van een auteursteam van schoolboekschrijvers. De onderstaande vragen werden samen met het leerstofontwerp door de onderzoeker toegezonden aan deskundigen van het planniveau. Deze vragen dienden tevens als uitgangspunt voor de interviews.

Over het leerstofontwerp willen we u een aantal vragen stellen. Vooraf willen we u echter een meer algemene vraag voorleggen.

- 1 *Wat is uw mening over integratie van leerstofonderdelen uit de natuurwetenschappen na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid'?*
 - a Welke voordelen van integratie ziet u voor leerlingen?
 - b Welke voordelen ziet u voor de docenten van de betrokken vakken?
 - c Welke nadelen ziet u voor leerlingen?
 - d Welke nadelen ziet u voor docenten van de betrokken vakken?
- 2 *Wij willen graag uw mening weten over het toegezonden leerstofontwerp. Teneinde de meningen achteraf te kunnen vergelijken, vragen we u de volgende vragen te beantwoorden.*

Wat is uw mening over:

- a de keuze van een probleemgestuurde benadering?
- b de mate waarin we er bij de probleemtaken in slaagden rekening te houden met misconcepties?
- c het uitgaan van functieafwijkingen?
- d het experimentele karakter van de probleemtaken?
- e de formulering van de leerlingenteksten?
- f de inhoud van de toelichtingen voor de docenten?

- 3 *Wilt u ten slotte een totaaloordeel geven over het leerstofontwerp?*

Resultaten

Bij de beantwoording van de vragen vermelden we per vraag - waar mogelijk - eerst de meningen die worden gedeeld door alle respondenten. Daarna volgen de uitspraken van de onderscheiden groepen respondenten. In de beschrijving van de antwoorden wordt aangegeven wanneer een bepaald standpunt niet wordt gedeeld door alle respondenten uit een bepaalde categorie. De auteurs gaven een schriftelijke reactie. De biologen beantwoordden de vragen uitvoerig. De reactie van de natuurkundige was summier.

Meningen van deskundigen over integratie van leerstofonderdelen na invoering van het profiel 'Natuur en Gezondheid'

Algemeen

De respondenten vinden - waar mogelijk - integratie van leerstof een goede zaak.

Volgens de respondenten uit de verzorgingsstructuur is integratie van leerstof noodzakelijk vanwege het

streven naar samenhang in de examenprogramma's en ontwikkelingen in de basisvorming (TVS: toepassing, vaardigheid en samenhang) en om het onderwijs te laten aansluiten op de vervolgopleidingen waar een multidisciplinaire aanpak steeds meer gemeengoed wordt. Zij vinden dat het management - ter bevordering van integratie - moet zorgen voor een goede overlegstructuur in de schoolorganisatie.

Volgens de uitgevers is er op dit moment nog geen concrete vraag naar geïntegreerde leerstof. Zij menen dat er op het gebied van vaardigheden wel sprake is van integratie. Zo bieden volgens hen nieuwe onderwijsmethoden mogelijkheden om algemene en vakspecifieke vaardigheden bij biologie te ontwikkelen in samenhang met andere natuurwetenschappelijke vakken, bijvoorbeeld 'Biologie voor jou'; 'Scala', een nieuwe methode voor Algemene Natuurwetenschappen en 'Nova', een nieuwe natuurkundemethode voor de tweede fase. De bij deze methoden behorende vaardigheidspakketten hebben een universele aanpak.

Auteurs van schoolboeken benadrukken dat integratie van leerstof ook belangrijk is in verband met de uitvoering van het profielwerkstuk, waarin tenminste twee van de drie natuurwetenschappen moeten participeren. Tot slot merkt één auteur op dat het - als aanzet tot integratie - gewenst is, afspraken te maken over terminologie en over taakverdeling tussen docenten in het onderwijs.

Voordelen van integratie voor leerlingen

Volgens de respondenten sluit een geïntegreerde aanpak beter aan bij de belevings- en ervaringswereld van leerlingen, wordt overlap van leerstof voorkomen en komen er mogelijkheden voor het hanteren van een uniforme terminologie, de keuze van realistischer leercontexten en een uniforme aanpak van vaardigheden.

Volgens de respondenten uit de verzorgingsstructuur biedt een geïntegreerd leerstofaanbod zonder meer grote voordelen voor leerlingen, omdat hierdoor hun motivatie wordt bevorderd. Een dergelijk leerstofaanbod voorkomt volgens één van hen ook het 'oogklepeffect', zoals geconstateerd bij een benadering via gescheiden vakken: eenvoudige fysische en chemische principes - waar leerlingen bij scheikunde en natuurkunde geen moeite mee hebben - zijn bij biologie 'niet op te rakelen'.

Volgens de uitgevers wordt een uniforme aanpak van vaardigheden bevorderd door het gebruik van informatie- en communicatietechnologie (cd-rom).

Auteurs menen dat integratie van leerstof de motivatie van leerlingen kan vergroten en dat het zien van grotere verbanden bij hen wordt gestimuleerd. Bij een geïntegreerd leerstofaanbod begrijpen de leerlingen volgens één auteur dat voor het oplossen van bepaalde problemen kennis van andere vakken noodzakelijk is: de natuurkundeleerstof over lenzen en brillen gaat voor hen pas 'leven' wanneer deze wordt geplaatst in de herkenbare context van de dagelijkse ervaring.

Voordelen van integratie voor docenten

Volgens de respondenten kunnen docenten elkaar stimuleren, van elkaars inzichten en ervaring profiteren en kennis nemen van elkaars didactische aanpak.

Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden dat het verkennen van grensgebieden tussen de verschillende disciplines verfrissend werkt. Zij verwachten een toename van motivatie bij docenten als gevolg van een kwaliteitsverhoging van het onderwijs. Eén respondent constateerde een toenemende motivatie als gevolg van samenwerking van docenten van een lerarenopleiding bij het onderwerp 'geschiedenis van de exacte vakken' en bij het maken van readers bij vakgrensoverschrijdende, thematische leerstof.

Volgens de uitgevers levert integratie op den duur tijdswinst op. Samenwerking van docenten stimuleert volgens hen samenwerking van technisch-onderwijsassistenten en daarmee uitwisseling van apparatuur en ontwikkeling van nieuwe practicumproeven, bijvoorbeeld voor een profielwerkstuk.

Ook volgens auteurs zal integratie de motivatie van docenten doen toenemen en samenwerking met technisch-onderwijsassistenten stimuleren. Volgens één van hen zal het gebruik van geïntegreerde leerstof docenten dwingen om goede afspraken te maken over onder meer planning en terminologie. Bovendien vindt hij het beschikbaar komen van geïntegreerde leerstof een goede aanzet tot de volgens hem onontkoombare samenwerking tussen docenten in de nieuwe tweede fase. Een andere auteur meent dat uitwisseling met andere disciplines altijd nuttig is, omdat dit dwingt tot nadenken over eigen didactiek.

Nadelen van integratie voor leerlingen

Volgens respondenten uit de verzorgingsstructuur stellen de meeste leerlingen geïntegreerd onderwijs op prijs. Er zijn volgens hen echter ook leerlingen die de voorkeur geven aan een gescheiden leerstofaanbod, omdat zij

menen dat ze zich de leerstof op die manier gemakkelijker kunnen eigen maken. Een nadeel van een geïntegreerd leerstofaanbod kan zijn dat leerlingen minder gemakkelijk verbanden zien tussen leerstofonderdelen binnen de afzonderlijke vakken dan bij een gescheiden leerstofaanbod. Volgens één respondent heeft een geïntegreerd leerstofaanbod uitsluitend voordelen. Het probleem dat leerlingen moeilijk verbanden zouden zien tussen leerstofonderdelen binnen de afzonderlijke vakken geldt volgens hem evenzeer voor een niet-geïntegreerde aanpak.

De uitgevers vinden dat een geïntegreerd leerstofaanbod voor vwo-leerlingen geen of nauwelijks nadelen heeft. Een nadeel voor havo-leerlingen kan zijn dat zij minder gemakkelijk verbanden zien tussen leerstofelementen binnen de afzonderlijke vakken dan bij een gescheiden leerstofaanbod.

Auteurs merken op dat leerlingen soms 'de weg al kwijtraken' doordat docenten van een eenzelfde vak de leerstof soms verschillend uitleggen en dat dit des te meer geldt wanneer - bij een geïntegreerd leerstofaanbod - ook docenten van andere vakken bij het onderwijs worden betrokken.

Nadelen van integratie voor docenten

Volgens de respondenten vergt integratie van leerstof een grote tijdsinvestering van docenten, naast die als gevolg van de invoering van de nieuwe examens, het nieuwe vak Algemene Natuurwetenschappen en het studiehuis.

Respondenten uit de verzorgingsstructuur menen dat samenwerken tussen docenten problematisch is als de schoolorganisatie niet voorziet in een duidelijke overlegstructuur. Docenten vrezen volgens hen soms voor vervaging van de vakstructuur of zien samenwerking als een bedreiging voor hun autonomie. Eén respondent ziet als nadeel dat docenten niet zijn opgeleid om geïntegreerde leerstof aan te bieden. Bijscholing is daarom aan te bevelen. Volgens hem kan vrees voor identiteitsverlies van hun vak en voor verlies van autonomie ten aanzien van integratie wel een rol spelen. Docenten zullen zich echter moeten aanpassen aan de ontwikkelingen in de nieuwe tweede fase waarin er meer samenhang tussen de vakken ontstaat en er geen of nauwelijks ruimte meer is voor autonomie.

De uitgevers verwachten dat gemotiveerde docenten moeilijk kunnen samenwerken met docenten die vrezen voor vervaging van de vakstructuur, identiteitsverlies van hun vak en voor het verloren gaan van eigen autonomie.

Volgens auteurs vereist integratie goed en dus tijdrovend overleg. Docenten zien volgens hen samenwerking niet als een bedreiging voor hun autonomie. Wel vrezen sommige docenten voor vervaging van de vakstructuur. Eén auteur merkt op dat het nu soms al moeilijk is om het binnen een sectie eens te worden over het gebruik van een bepaalde leermethode, laat staan om de methoden van twee of meer secties op elkaar af te stemmen, waaraan bij integratie niet valt te ontkomen.

Meningen van deskundigen over het leerstofontwerp

De keuze van een probleemgestuurde benadering

Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden een probleemgestuurde benadering bij integratie van leerstofonderdelen een uitstekende keuze. Zij achten een benadering via ontwerpend leren ook mogelijk. Eén van hen is een groot voorstander van probleemgestuurd leren, omdat deze benadering en een geïntegreerd leerstofaanbod goed aansluiten bij de werkwijze van natuurwetenschappelijke onderzoekers. Tevens past volgens hem probleemgestuurd leren goed bij het studiehuisconcept van de nieuwe tweede fase waarin actief en zelfstandig leren een grote rol spelen. Voorts wijst hij erop dat probleemgestuurd leren - vergeleken met een uniforme klassikale aanpak - veel meer mogelijkheden biedt voor een gedifferentieerde aanpak, waardoor het leerproces van de individuele leerling wordt gestimuleerd.

De uitgevers vinden een probleemgestuurde benadering didactisch gezien een goede aanpak. Probleemgestuurd leren is een heel expliciete keuze. Omdat uitgevers inspelen op vragen uit en ontwikkelingen in het veld, wordt in de huidige leerboeken en die voor de naaste toekomst - zoals Biologie voor jou en Nova - een didactiek niet dwingend voorgeschreven. Er wordt gewerkt met open opdrachten, waarbij de docent de keuze maakt voor de didactische benadering.

Volgens auteurs kan een probleemgestuurde benadering zeer motiverend werken, waarbij wel steeds een terugkoppeling moet worden gemaakt naar de theorie. Eén van hen voegt daaraan toe dat een probleemgestuurde benadering dwingt tot contextgericht onderwijs.

De mate waarin rekening werd gehouden met misconcepties

Volgens respondenten uit de verzorgingsstructuur is de opzet van de probleemtaken - met het oog op het vermijden van misconcepties - uitstekend. Zij vragen zich wel af hoe gecontroleerd kan worden of misconcepties bij leerlingen inderdaad zijn opgeheven. Een diagnostische toets zou hier meer duidelijkheid kunnen geven. Volgens één respondent speelt de geïntegreerde opzet van de probleemtaken bij het rekeninghouden met misconcepties een belangrijke rol, omdat de leerlingen duidelijk wordt dat de werkelijkheid niet vanuit één discipline is te beschrijven. Hoewel volgens hem een diagnostische toets wellicht informatie zou kunnen opleveren over het opheffen van misconcepties bij leerlingen, vindt hij dat de mate waarin leerlingen in staat zijn gezamenlijk een profielwerkstuk goed op te zetten, hierover meer informatie kan opleveren.

De uitgevers hebben geen duidelijke mening over het rekening houden met misconcepties, omdat deze vraag niet op hun terrein ligt.

Eén auteur denkt dat de leerlingen het onderwerp accommodatie zeker beter zullen begrijpen na uitvoering van de taken. Ook het verband oogaslengete/lenssterkte zal duidelijker zijn. Zij heeft wel behoefte aan meer informatie over nabijheidspunt en vertepunt en de leerlingen hebben dat misschien ook, wellicht in de vorm van enkele figuren en definities. Een andere auteur betwijfelt of misconcepties bij leerlingen wat betreft biologie wel zo duidelijk aanwezig zijn, wellicht is dit wel het geval bij natuurkunde.

Het uitgaan van functieafwijkingen

Volgens de respondenten krijgen de leerlingen bij het uitgaan van functieafwijkingen bij de formulering van de probleemtaken meer inzicht in het oog als biologisch systeem. Een benadering via functieafwijkingen sluit volgens hen aan bij de beleevingswereld van leerlingen en geeft hun een indruk van bepaalde beroepen. Door deze benadering kunnen leerlingen metingen verrichten en daardoor meer inzicht krijgen in het functioneren van het normale oog.

Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden het gebruik van functieafwijkingen als startpunt bij de formulering van de probleemtaken prima. Verder past deze benadering volgens hen goed bij het ziekte- en gezondheidsdenken. Ook pathologische processen zoals glaucoom, staar en vit A-gebrek zouden volgens hen uitgangspunt kunnen zijn voor het formuleren van problemen. Het aangeven van het verschil tussen functieafwijkingen en pathologie is van belang. Verder dient volgens hen de variantie bij functieafwijkingen als bijziendheid duidelijker geëxpliciteerd te worden, en kan in dit verband ook worden gewezen op een vergelijkbare variantie bij intreden van puberteit en groeispurt. Eén respondent vindt het uitgaan van functieafwijkingen bij het aan de orde stellen van het oog als biologisch systeem heel belangrijk, omdat hierbij een enorme valkuil voor met name het biologieonderwijs wordt vermeden, namelijk het zogenoemde normdenken. Leerlingen zien dat er niet één normsituatie bestaat waarbij variaties op deze norm als afwijkend worden beschouwd. Met het oog op het gezondheidsdenken vindt hij een heel sterk punt in het leerstofontwerp dat leerlingen duidelijk wordt dat de grenzen tussen 'normaal' en 'afwijkend' vloeiend verlopen.

Volgens de uitgevers sluit het uitgaan van functieafwijkingen goed aan bij de praktijksituatie in de klas, met leerlingen met diverse functieafwijkingen en een duidelijke spreiding in de maximale gezichtsscherpte bij normaalziende leerlingen (vergelijk lichaamslengte).

Auteurs vinden het uitgaan van functieafwijkingen een goed idee en ze verwachten dat een dergelijke benadering de leerlingen aanspreekt. Aan één van hen is uit ervaring gebleken dat de genoemde aanpak leerlingen motiveert. Het aardige in dit verband is volgens hem dat leerlingen bij medeleerlingen met brillen of contactlenzen heel direct ontdekken welke functieafwijkingen hun ogen hebben, omdat zij immers samenwerken aan de proeven en ontdekken dat ze verschillende ervaringen hebben.

Het experimentele karakter van de probleemtaken

Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden een experimenteel karakter van probleemtaken uitstekend. Eén van hen vindt een dergelijke benadering essentieel voor een natuurwetenschappelijk vak. Leerlingen worden door een dergelijke opzet van de probleemtaken gemotiveerd. Volgens hem motiveren experimenten met zintuigen de leerlingen het meest.

Volgens de uitgevers past een aanpak via waarnemingen en proeven bij het karakter van de natuurwetenschappen. Al experimenterend kunnen leerlingen zelf ervaren wat de achtergrond van bepaalde wetmatigheden is.

Auteurs menen dat de probleemtaken goed zijn uit te voeren en dat het verrichten van waarnemingen en het uitvoeren van proeven inherent is aan de natuurwetenschappelijke werkwijze. Eén van hen vindt de experimen-

tele opzet van de probleemtaken prima, gezien het accent op praktisch werk in de nieuwe tweede fase.

De formulering van de leerlingenteksten

Volgens de respondenten is de opzet, formulering en sequentie van de beschreven problemen uitstekend.

Respondenten uit de verzorgingsstructuur noemen als punten van kritiek bij een aantal opdrachten dat gegevens beter kunnen worden aangeboden in de vorm van een figuur dan in een beschrijving. Overigens wordt volgens hen dit bezwaar voor een groot deel ondervangen doordat leerlingen beschikken over oogschema's. Bij bepaalde problemen zou volgens hen van de leerlingen een systematische proefopzet moeten worden gevraagd met een hypothese en een meetvoorstel. Voorts vinden zij dat er niet altijd een duidelijke scheiding is tussen probleem en opdracht. In een probleem komt dan niet een conflict in waarnemingen aan de orde. Er is veelal sprake van een constatering, een beschrijving van verschijnselen. De opdrachten hebben een uniforme opbouw. Wellicht zou enige variatie in de structuur van de opdrachten voor leerlingen motiverend werken. Een respondent geeft de voorkeur aan een uniforme opbouw van de probleemtaken. Leerlingen kunnen zo spelenderwijs wennen aan de natuurwetenschappelijke werkwijze. Deze opzet kan ertoe leiden dat leerlingen bijvoorbeeld bij het opzetten van een profielwerkstuk problemen en hypothesen kunnen formuleren, waardoor de genoemde werkwijze nog meer tot z'n recht komt.

De uitgevers kunnen - gezien tegen de achtergrond van probleemgestuurd leren - uit de voeten met het systeem introductie-probleem-opdracht. Zij denken dat deze aanpak succesvol kan zijn. Een uniforme opbouw van de probleemtaken is volgens hen nodig, omdat leerlingen anders bij zelfstandig werken dreigen vast te lopen. Om te onderzoeken of leerlingen het overzicht over het geheel houden is een diagnostische toets nuttig.

Auteurs vinden de formulering van de opdrachten duidelijk. Er zou volgens hen wel een begrippenlijst aan kunnen worden toegevoegd. Volgens één van hen zouden figuren bij een aantal problemen verhelderend kunnen werken. Een bezwaar bij de formulering van de probleemtaken is volgens hem dat leerlingen nergens wordt gevraagd een volgende stap zelf te bedenken, een hypothese te formuleren of zelf een experiment te bedenken bij een gesteld probleem.

De inhoud van de toelichtingen voor de docenten

Volgens respondenten uit de verzorgingsstructuur bevatten de toelichtingen veel wetenswaardigs. Wellicht zouden bepaalde gegevens beter kunnen worden aangeboden in figuren. Verder zou een structuur waarbij eerst algemene gegevens en vervolgens details aan de orde komen, aanbevelenswaardig zijn. Een respondent vindt de toelichting voor docenten heel handig en nuttig en meent dat deze de docenten de nodige steun geeft.

De uitgevers vinden de toelichtingen relevant. De uitgebreidheid is volgens hen geen bezwaar, omdat docenten goed in staat zijn snel die informatie te selecteren die voor hen van belang is. Wanneer de informatie interactief op cd-rom zou worden aangeboden, zouden niet alleen docenten maar ook leerlingen hiervan gebruik kunnen maken.

Volgens de auteurs zouden de toelichtingen hier en daar moeten worden uitgebreid, vooral met schema's en figuren.

Totaaloordeel over het leerstofontwerp

De respondenten vinden de leerstof over de geometrische optica van het oog bij uitstek geschikt voor integratie, mede omdat de vakken biologie en natuurkunde in de opeenvolgende problemen een ongeveer gelijk aandeel hebben.

Respondenten uit de verzorgingsstructuur vinden de uitwerking van het leerstofontwerp prima. Zij vinden het leerstofontwerp - na aanpassing voor de doelgroep - bovendien geschikt voor nascholing, omdat het zeer positief kan zijn dat docenten eens kennismaken met een geïntegreerde aanpak zoals ook bij het moderne natuurwetenschappelijke onderzoek het geval is. Een van hen wil het ontwerp testen bij het onderwijs in de biofysica voor studenten natuurkunde van de lerarenopleiding waaraan hij is verbonden. Tevens kan dan worden nagegaan of in sommige problemen het aanbieden van gegevens door middel van een tekst, of door middel van een figuur de voorkeur verdient. Een andere respondent wijst op de goede aansluiting van het ontwerp bij het studiehuisconcept in de nieuwe tweede fase.

Volgens de uitgevers vormt het leerstofontwerp een goede opmaat voor toekomstige leermethoden. Een voorwaarde voor realisatie hiervan is wel dat de samenwerking tussen docenten uit de natuurwetenschappelijke

Bijlage 13

secties meer gestalte moet krijgen. Uitgevers zouden leerboeken dan meer modulair kunnen opzetten en kunnen streven naar meer afstemming tussen de natuurwetenschappen. Integratie van de gehele natuurwetenschappelijke leerstof achten zij niet mogelijk en ook niet wenselijk. Bepaalde onderdelen zoals de basisoptica kunnen volgens hen beter gescheiden worden aangeboden. Andere onderwerpen dan het oog die zij geschikt vinden voor integratie zijn bewegingsapparaat en krachten (mechanica), hart en circulatie, vloeistofdruk (bloeddruk, oogdruk) en algemene en onderzoeksvaardigheden.

De auteurs vinden dat het leerstofontwerp goed past in een toekomstige leermethode gebaseerd op probleem-gestuurd leren.

Bijlage 14. Suggesties voor verbetering van het leerstofontwerp

Bij de verkenning van het draagvlak voor het leerstofontwerp (§ 4.10) deden de geraadpleegde deskundigen enkele suggesties voor verbeteringen van en aanvullingen op het ontwerp (§ 4.12). In deze bijlage geven we enkele voorbeelden van hoe de suggesties kunnen worden uitgewerkt in de probleemtaken. Bovendien geven we bij de informatie voor docenten nog een aanvulling bij twee problemen uit het leerstofontwerp en bij één probleem uit de 'Suggesties voor probleemtaken' (bijlage 11), omdat - achteraf gezien - de oorspronkelijke informatie tekortschiet. We ordenen de voorbeelden van uitwerking onder kopjes als 'Scheiding tussen probleem en opdracht', 'Illustraties' enzovoort.

Scheiding tussen probleem en opdracht

Enkele respondenten merken op dat er bij de formulering van probleemtaken niet altijd een duidelijke scheiding is tussen probleem en opdracht. Bijvoorbeeld bij probleem B4: 'Ver zien'. Hieronder geven we een gewijzigde formulering van dit probleem.

'Ver zien'. Leerlingentekst bij probleem B4 (vergelijk box 4.8 in § 4.10).

'Ver zien'

Introductie

Sommige leerlingen, zoals Paul zien op afstand zonder bril even scherp als met bril. Paul had ook geen klachten over onscherp zien in de verte, zoals Yvonne en Wouter (probleem A2); hij is dus niet bijziend. De functieafwijking van zijn oog noemen we verziendheid of oververziendheid. Zijn klachten beperkten zich tot 'vermoeide en geïrriteerde ogen'. De vraag is waarom hij toch een bril draagt. Daarover gaat het volgende probleem.

Probleem

Yvonne en Wouter uit probleem A2 zijn bijziend. Zonder bril konden zij de letters op de leeskaart alleen op korte afstand goed zien. Paul kan ook op afstand zonder bril scherp zien, waarom draagt hij dan toch een bril?

Het nabijheidspunt van Paul gemeten met bril lag op een afstand van 6 cm van het oog. Zonder bril is dit 10 cm. Kennelijk beïnvloedt het wel of niet dragen van een bril de ligging van het nabijheidspunt.

Opdracht

Verklaar het verschijnsel dat het dragen van een bril de ligging van het nabijheidspunt beïnvloedt en teken in oogschema's de gang van de invallende lichtstralen in het oog van Paul, gerekend vanaf het nabijheidspunt, met en zonder bril. Je mag ervan uitgaan dat het maximale accommodatievermogen van zijn ogen gelijk is aan dat van een normaal oog.

Illustraties

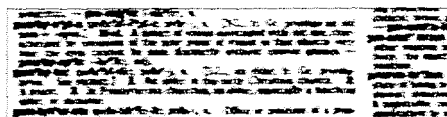
Enkele respondenten vinden het gewenst een aantal problemen te voorzien van een illustratie. We geven hier een paar voorbeelden van dergelijke illustraties. De volgende illustraties kunnen respectievelijk dienst doen bij probleem A2: *Slechte ogen?* en bij probleem B3: *Lezen*.



Simulation of normal vision



Simulation of myopia

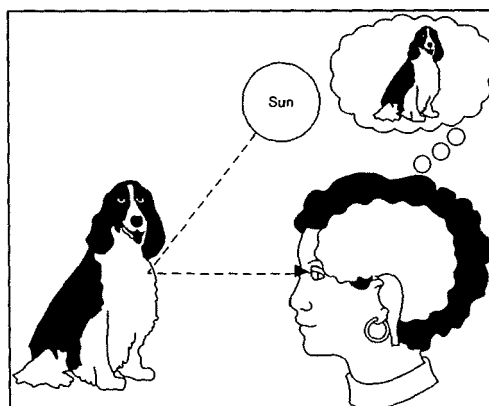


Simulation of presbyopia

Vision, a school program. National Eye Institute. Bethesda:
The association for Research in Vision and Ophthalmology, 1995.

De volgende illustratie betreft het 'zichtconcept' (bijlage 7).

'Zichtconcept'



Vision, a school program. National Eye Institute. Bethesda:
The association for Research in Vision and Ophthalmology, 1995.

Diagnostische toets

Enkele deskundigen pleiten voor een diagnostische toets, teneinde na te kunnen gaan in hoeverre misconcepties bij leerlingen zijn verminderd of opgeheven. We geven hier een voorbeeld van een opgave voor een dergelijke toets.

Om goed te kunnen lezen, is op hogere leeftijd een leesbril noodzakelijk. Bij iedereen wordt de ooglens in de loop der jaren minder elastisch en kan dus bij het accommoderen minder bol worden.

Hieronder volgen drie redeneringen. Je moet bij elke redenering door het woord 'goed' of 'fout' te omcirkelen, aangeven of deze redenering wel of niet klopt. Bovendien moet je je antwoord motiveren.

1. Bij het ouder worden, kan de ooglens minder bol worden. Bij een bijziende is de ooglens, vergeleken met de oogaslengte, eigenlijk altijd al te bol. Wanneer bij het ouder worden de lens minder bol kan worden, zal een bijziende op een gegeven moment geen bril meer nodig hebben om in de verte scherp te kunnen zien.

Goed-fout; motivering:

2. Bij het ouder worden verandert de plaats van het vertepunt niet. Het nabijheidspunt komt steeds verder van het oog te liggen en valt ten slotte samen met het vertepunt.

Goed-fout; motivering:

3. Bij een verziende ligt het nabijheidspunt gemiddeld verder van het oog dan bij een normaal ziende. Bij het ouder worden zal het nabijheidspunt van verzienden ten slotte verder van het oog liggen dan hun vertepunt.

Goed-fout; motivering:

Nadere informatie over het vertepunt

Eén deskundige merkt op dat in de informatie voor docenten bij de problemen meer aandacht moet worden besteed aan het vertepunt. Dit vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het feit dat er een discrepantie is te constateren tussen het vertepunt zoals dit in de fysica en de biologie wordt gedefinieerd en het vertepunt zoals dit in de oogheelkundige praktijk wordt gehanteerd.

Bij de beschrijving van het vertepunt gaat het om het *ongeaccommodeerde* normaal-ziende oog of - in geval van functieafwijkingen - het gecorrigeerde oog. Het vertepunt is dan het dichtstbijzijnde punt dat scherp wordt afgebeeld op het netvlies. Dit punt ligt op ongeveer 5 meter van het oog. Lichtstralen die vanaf deze afstand het oog binnentreden, zullen enigszins divergeren en een beeldpunt vormen dat iets achter het netvlies ligt. Op het netvlies ontstaat dan een beeldvlekje, de zogenoemde onscherptecirkel. Kennelijk heeft dit niet tot gevolg dat er van een voorwerp op een afstand van 5 meter een onscherp beeld ontstaat. Dit is pas het geval bij een bepaalde diameter van de onscherptecirkel. Omdat de diameter van de onscherptecirkel recht evenredig is met die van de pupil, moet de leeskaart worden bekeken met een standaardverlichting, waarbij de pupil een gemiddelde diameter heeft. Dat een afstand van 5 meter voldoende is om scherp zien op afstand met behulp van de leeskaart te testen, blijkt ook uit het volgende. Wanneer we het beeldpunt willen laten samenvallen met het netvlies is daarvoor slechts een correctie van 0.2 D nodig en bij een leeskaart bedoeld voor een afstand van 6 meter een correctie van 0.17 D. Deze waarden zijn te verwaarlozen gezien het feit dat de laagste in de oogheelkunde toegepaste - en vaak niet eens toegepaste - correctie 0.25 D bedraagt. Het komt er dus op neer dat als iemand op 5 meter afstand scherp ziet, hij dit ook doet op grotere afstand.

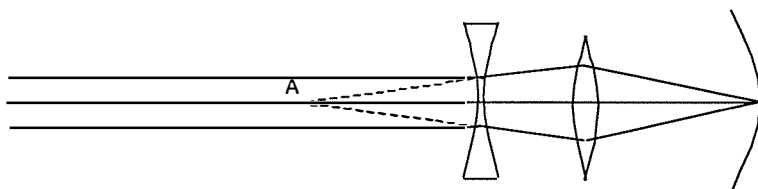
Wanneer in de natuurkundeboeken wordt opgemerkt, dat het oog verder dan het vertepunt niet scherp kan zien en dat elk oog alleen maar scherp ziet tussen zijn nabijheidspunt en zijn vertepunt, dan is er sprake van een andere benadering. Men gaat uit van evenwijdige lichtstralen die elkaar dus snijden 'in het oneindige', waar het vertepunt wordt gesitueerd. Het vertepunt is dan het verst weg gelegen punt dat met het ongeaccommodeerde oog nog scherp kan worden gezien. Een correctie is dan niet nodig, want deze zou 1 gedeeld door oneindig = 0 bedragen.

Theoretisch ligt het vertepunt dus 'in het oneindige' en praktisch op ongeveer 5 meter afstand. Er is dus eigenlijk sprake van een 'vertetraject'.

In sommige biologieboeken wordt dit probleem omzeild door het vertepunt niet te noemen, maar - niet geheel correct - te vermelden dat van voorwerpen die op een afstand van tenminste 5 meter van het oog zijn verwijderd de lichtstralen altijd evenwijdig invallen.

Aanvullende informatie bij probleem A2

Met behulp van de onderstaande tekening verduidelijken we het verband tussen de plaats van het vertepunt van het ongecorrigeerde bijziende oog en de benodigde brilsterkte.



Wanneer we de negatieve correctielens even wegdenken, dan representeert het punt A het vertepunt van het bijziende oog. Het brandpunt van divergerende lichtstralen die vanuit dit punt het oog binnentreden, ligt op het netvlies. De negatieve correctielens moet een zodanige sterkte hebben, dat het vertepunt van het bijziende oog niet meer wordt gerepresenteerd door het punt A, maar 'in het oneindige' ligt. De negatieve correctielens moet de van een voorwerp uitgaande evenwijdige lichtstralen zodanig divergeren dat deze stralen schijnbaar uit punt A komen. Daarmee komt het vertepunt van het gecorrigeerde bijziende oog in het oneindige te liggen.

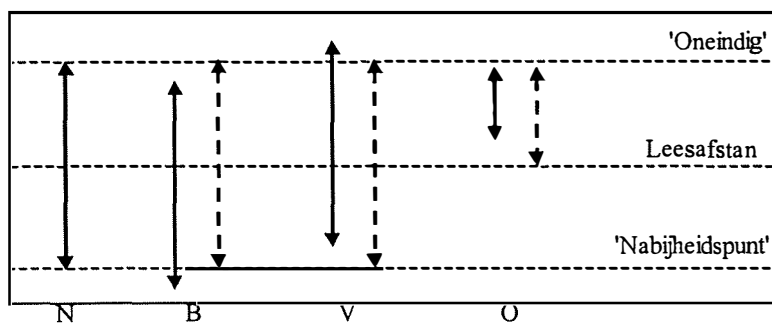
Aanvullende informatie bij de problemen B6 en B7

In het navolgende schema geven we een overzicht van het gezichtsbereik van het normale oog (N), het bijziende oog (B), het verziende oog (V) en het oog met ouderdomsverziendheid (O); de laatste drie zonder en met correctie. We gaan uit van een gelijk maximaal accommodatievermogen bij het normale oog en het oog met functieafwijkingen, zodat het nabijheidspunt - in het laatste geval met correctie - op dezelfde plaats ligt.

Met de ononderbroken lijnen is het gebied aangegeven waarbinnen met het ongecorrigeerde, en met de gestippelde lijnen met het gecorrigeerde oog scherp zien mogelijk is. Dit gebied wordt begrensd door het nabijheidspunt en het vertepunt. We merken op dat het bij ouderdomsverziendheid na correctie aangegeven gezichtsbereik tot stand is gekomen door aan te nemen dat de betreffende persoon alleen bij het lezen zijn leesbril gebruikt en niet bij het in de verte zien.

Aangezien de plaats van het vertepunt tijdens het leven ongewijzigd blijft, is uit het schema op te maken dat een bijziende - in tegenstelling tot wat leerlingen soms menen - op gevorderde leeftijd nog steeds een bril nodig heeft om in de verte scherp te kunnen zien. Bij het ontstaan van ouderdomsver-

ziendheid wordt immers alleen het nabijheidspunt 'verplaatst'.



Bijlage 15. Pre/posttest

In deze bijlage geven we de pre/posttest zoals afgenomen in twee biologiegroepen uit 6-vwo van de KSG De Breul in Zeist bij het experimenteel toetsen van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp (§ 4.13).

Wat weet je van licht en zien?

Om te weten te komen wat je mening is over de onderwerpen 'licht' en 'zien', willen we je hierover graag een aantal vragen voorleggen. Daaraan voorafgaand stellen we een aantal meer algemene vragen. Dit om een goed beeld te krijgen van de uitkomsten van de vragenlijst.

Omcirkel het juiste antwoord of vul in

Ik ben een: - jongen - meisje

Ik heb natuurkunde in mijn vakkenpakket: - ja - nee

Ik had op het overgangsrapport van 5- naar 6-vwo voor biologie het volgende cijfer ... en - voorzover van toepassing - voor natuurkunde een ...

Ik zit voor de tweede keer in 6-vwo en heb dus al onderwijs over het oog gevolgd: - ja - nee

In de vragenlijst wordt een aantal beweringen gedaan, geformuleerd in de vorm van genummerde en cursief aangegeven stellingen.

Als reactie op elke stelling moet je steeds twee antwoorden kiezen: 'juist' of 'onjuist' én 'ik weet het zeker' of 'ik weet het niet zeker'. Dat betekent dat je achter elke stelling twee kolommen invult met een kruisje. (In deze bijlage zijn de kolommen weggelaten.)

Als je een antwoord wilt veranderen, dan streep je - voordat je een nieuw kruisje zet - eerst het 'foute kruisje' duidelijk door.

De stellingen worden - waar nodig - voorafgegaan door een inleidende tekst.

- 1 Vissen hebben een niet vervormbare, bolronde ooglenzen. Om op verschillende afstanden scherp te kunnen zien, kan de ooglenzen worden verplaatst. De vis kijkt in de verte.

Stelling: Om vervolgens een voorwerp van dichtbij scherp te kunnen zien, moet de ooglenzen van de vis van het netvlies af worden verplaatst.

- 2 Hoe sterker een lens vergroot, des te verder moet je deze lens van een voorwerp houden om dit scherp te kunnen zien.
- 3 We zien een voorwerp omdat van elk punt van dat voorwerp een divergente lichtbundel in ons oog valt, die vervolgens convergeert tot één punt op ons netvlies.
- 4 Bij alle leerlingen die in de verte zonder bril goed kunnen zien, is de afstand van de ooglenzen tot aan het netvlies gelijk.

Bijlage 15

- 5 Een leerling die zonder bril op korte afstand wel scherp kan zien maar in de verte niet, is bijziend. Bij het ouder worden, wordt de ooglenz minder elastisch en kan daardoor minder gemakkelijk van vorm veranderen.

Stelling: Een bijziende leerling is van mening dat hij op latere leeftijd ook in de verte zonder bril scherp kan zien.

- 6 Een te grote afstand tussen de ooglenz en het netvlies heeft bijziendheid tot gevolg.
- 7 Iemand die bijziend is, kan in de verte scherp zien door een negatieve lens van de juiste sterkte voor zijn oog te houden.
- 8 Als een leerling die zonder bril een voorwerp in de verte scherp kan zien, een zwakke negatieve lens voor zijn oog houdt, dan wordt het beeld van dit voorwerp onscherp.
- 9 Op een scherm wordt van een voorwerp een scherp beeld gevormd. Als we dit scherm een klein stukje in de richting van het voorwerp verplaatsen, wordt het beeld wazig. Bij sommige leerlingen is de afstand tussen ooglenz en netvlies iets te klein.

Stelling: Zonder bril kunnen deze leerlingen in de verte toch scherp zien.

- 10 Het dichtst bij het oog gelegen punt dat je nog scherp kunt zien, heet het nabijheidspunt.

Stelling: Voor elke individuele leerling geldt dat tijdens zijn leven het nabijheidspunt op dezelfde plaats blijft.

Bedankt voor het invullen!

Summary

With the inquiry described in this thesis it is intended - with regard to the teaching method - to contribute to the increase of the quality of the teaching strategy in the natural sciences in the innovated second stage of Dutch secondary education. The inquiry concerns the integration - in cooperation with teachers - of subject matter components from the natural sciences.

Integration is for all sorts of reasons desirable (chapter 1). Thus the everyday experience of pupils constitutes a whole and is not divided into disciplines. If teachers are to gear in their education to this world - in order to stimulate the concept formation of the pupils - integration is self evident. There are also themes with an interdisciplinary character - such as the environment theme - in which an approach via separated subjects is inadequate. If teachers want to give attention to such socially relevant themes, they will have to integrate the subject matter before offering it. Integration, for that matter, results directly and inevitably from the character of biology as a science and its position in relation to the other natural sciences. Biology as a school subject offers good possibilities for integration because it contains physical and chemical subject matter components.

Increasing cooperation - as a result of far-reaching specialization - is a tendency which is getting more and more prominent in our society. If education also means that pupils are prepared for functioning in society, this should be paid attention to at school. Teachers can teach pupils to cooperate by offering subject matter as - interdisciplinary - explanation problems. Performing these problems offers good possibilities for group work, in which cooperation can be practised. Teachers will, in connection with their monodisciplinary education, also have to cooperate - with regard to subject matter content - if they want to participate in developing integrated subject matter. In present Dutch education full integration of the natural sciences does not seem feasible. However, there are possibilities for integration of subject matter components from various disciplines.

The inquiry described in this thesis consists of three parts: an inquiry into literature, a Delphi-inquiry, and a study in practice.

The inquiry into literature (chapter 2) consists of an investigation into the integration of subject matter components from the natural science subjects in international and Dutch scientific literature and in the Dutch professional literature. In scientific literature various motives for and against integration were found, but there were more motives in favour than against offering subject matter in integrated form. Thus an integrated subject matter provision appears to have favourable effects on pupils, such as an increased motivation and a favourable effect on their concept formation. Some of the most important motives are to gear the education to social problems with an interdisciplinary character and to provide pupils with the understanding that the natural

sciences form a fundamental unity. Several authors point out that integration can be stimulated when more integrated subject matter - tested in practice - will become available.

From Dutch professional literature it appeared that cooperation with regard to subject matter content c.q. integration of subject matter seldom occurs in practice and was realised at some schools under certain circumstances only. For at these schools there was a special education system and/or the assistance of education support institutions. In Dutch professional literature no facts were found on the integration of subjects in the upper grade of 'ordinary' schools. In the examples in actual practice found in this literature the process of cooperation between teachers in developing integrated subject matter is described nowhere.

Because of the results of the inquiry into the literature it was decided - via a Delphi-inquiry (chapter 3) - to ask Dutch experts if they subscribe to the desirability of integration, and what their opinion is about the possibilities of several forms of integration of subject matter components in the new upper grade of 'ordinary' schools. The Delphi-inquiry took place before the introduction of the new second stage of secondary education in 1999. The experts consulted thought cooperation with regard to subject matter content and integration of subject matter components from natural sciences desirable and also feasible in 'ordinary' schools after the introduction of the new upper grade of secondary education. From the Delphi-inquiry it appeared that lack of time was the most important impediment for teachers to develop integrated subject matter together. As after the introduction of the innovated second stage there will not be more time available, teachers cannot be expected to get round to that.

In order to motivate teachers to work nevertheless with integrated subject matter, explanation problems were worked out in the study in practice (chapter 4) in a form feasible for teachers (and pupils). The elaborated explanation problems are part of a design of integrated subject matter, developed for the material developers, that is publishers, experts from the educational support structure and textbook authors. For this design - also on the basis of the Delphi-inquiry - 'health' was chosen as a context with 'the eye' as a subject. The context 'health' is related to the subject combination 'Science and Health', for which the subject matter developed is meant and the subject 'the eye' is part of the examination syllabus of biology and physics of this subject combination.

In the development of the subject matter design by the researcher - in cooperation with a number of teachers in the natural sciences - the encouragement of independent learning of pupils as one of the objectives of the innovated second stage was taken into account. In learning independently pupils are held responsible for their process of learning by which their motivation and commitment are influenced favourably. Therefore, with independent learning the objective is to make pupils develop skills to acquire knowledge themselves. The subject matter design is geared to this by starting from

'problem based learning', in which pupils work independently at explanation problems. In these explanation problems subject matter components - in this case from biology and physics - are offered as integrated problems. Because the elaborated explanation problems in the subject matter design only initiate problem based learning, a number of fairly simple problems within them are formulated, which pupils can solve without much help from the teacher.

The alternation of individual work, group work and whole class evaluation of the results obtained was chosen as a teaching method for elaborating the explanation problems. Group work has a positive influence on the motivation and learning results of pupils. Moreover group work strongly contributes to teaching pupils to cooperate and to select information relevant to the problems. The integrated character of the problems is in line with the everyday experience of pupils. The relation with this undivided world was obtained by choosing as a starting point the functional disturbances of the eye, such as myopia and hypermetropia. The misconceptions with regard to the eye function as described in the literature were also taken into account.

In order to explore in practice the support for the subject matter design, this design was submitted to experienced biology teachers and material developers. These experts had a positive opinion on the usefulness of the subject matter design in educational practice.

The elaborated part of the design was tested in practice in a group of pupils from the last school year of pre-university education. From this empirical test it appeared that the teacher concerned could work with the subject matter in accordance with the scenario and that the pupils performed the explanation problems in a motivated and successful way. From the tests held it appeared that knowledge and insight of the pupils had clearly increased.

As the pupils were already familiar with independent learning, they were able to solve the problems independently. The explanation problems - however - were not worked out in such a way that they increasingly appealed to the pupils to learn independently. In addition to these elaborated explanation problems the subject matter design also contains a number of suggestions for explanation problems still to be elaborated. These suggestions can be worked out in such a way that in performing the explanation problems independent learning is asked from pupils in an increasing degree.

In the final chapter (chapter 5) the factors influencing the intention of teachers to develop and/or elaborate integrated subject matter together are related to the model of influencing behaviour of Ajzen & Madden (1986). In this model the intention to show a certain behaviour is effected by the consideration of three factors, that is the attitude, the subjective norm and the perceived behavioral control.

The attitude of the teachers concerned - their attitude towards integration - was positive. This positive attitude was the most important contribution to their intention to take part in developing integrated subject matter. The subjective norm - in how far teachers felt supported by their surroundings - was also positive. Thus within the school an at-

mosphere of innovation existed and there was a positive attitude of the school management team and colleagues from the science departments towards a project in which integrated subject matter was to be developed. The perceived behavioral control - the private control of the feasibility of the project - of the teachers concerned was great. For they were convinced that this project - if there would be enough time for the performance - was to succeed. Lack of time - in connection with the time-devouring implementation of the innovated second stage of secondary education - was, however, for the teachers an inhibiting factor to realise their intention to participate in the development of integrated subject matter in practice.

Only as a result of particular circumstances the researcher was able to develop this subject matter in cooperation with some teachers in the natural sciences. For he was working for a considerable time at the school concerned and therefore an insider. As, during the development of the subjectmatter, he only gave a few lessons at this school, he was able to invest a lot of time in the project. In the cooperation with the teachers he took a leading part and took their duties into consideration.

After finishing the project it appeared that the cooperation of the teachers as to the development of integrated subject matter positively influenced their intention to continuing cooperation with regard to subject matter content. For they intend to offer their pupils the developed subject matter themselves and to examine the possibility to also offer subject matter in an integrated form with other subjects from the natural sciences but the eye.

The availability for teachers in the natural sciences of the developed subject matter is a direct profit of the inquiry into the teaching of the natural sciences in the innovated second stage of secondary education. A second profit of the inquiry is the transference of the developed problem based learning for higher education - with the help of a design of integrated subject matter developed in practice - to the second stage of the pre-university education. With this a universal approach which activates the pupils, for (sub)curricula has become available for the teaching method in the natural sciences. This approach also seems suitable for an integrated elaboration of subject matter with regard to other themes from the natural sciences, for instance heart and circulation. The profit for material developers is the availability of explanation problems already worked out and suggestions for explanation problems still to be elaborated.

As a conclusion some recommendations are made for further inquiry.

From the empirical tests it appeared that the pupils performed the explanation problems in a motivated and succesful way and that their knowledge and insight had increased. However it is unkwown if this motivation and increase of kwoledge and insight were brought about by the integrated character of the expanation problems, by the problem based approach, by the strong emphasis on the performance of experiments by the pupils themselves, or by functional disturbances which functioned as starting points, or a combination of these factors. Inquiry is consequently desirable.

The elaborated explanation problems were performed successfully in practice by a group of pupils from pre-university education. It is unknown if the same didactical approach is suitable for pupils from senior general secondary education. This has to be inquired into. In addition investigations should be made as to what other adaptations are necessary to make the explanation problems suitable for these pupils.

The elaborated explanation problems with regard to the eye function were based upon a specific approach, namely functional disturbances of the eye as a starting point for the problems in combination with a strong emphasis on the performance of experiments by the pupils themselves. It has to be inquired into if a similar approach is feasible for other subjects besides the eye and leads to concept formation with pupils. From the results of the empirical tests of the elaborated explanation problems some indications were obtained that there was a decrease of misconceptions described in the literature. However the inquiry was not particularly focussed on it. So it should be investigated to what extent offering integrated explanation problems starting from functional disturbances of the eye, leads to decreasing c.q. eliminating misconceptions by pupils and if a similar approach can generally be used for eliminating misconceptions.

Curriculum vitae

De schrijver van dit proefschrift werd op 31 december 1933 geboren te Lochem. In 1953 behaalde hij het diploma gymnasium- β aan het toenmalige Christelijk Lyceum in 't Gooi te Hilversum. In hetzelfde jaar begon hij met een studie biologie aan de Rijksuniversiteit Utrecht. In 1956 legde hij het kandidaatsexamen (K) af en in 1957 behaalde hij de akte K-IV en Q (MO delfstof-, aard-, plant- en dierkunde, met onderwijsbevoegdheid voor deze vakken). In 1959 sloot hij de biologiestudie af met het doctoraal examen, met de hoofdrichting plantensystematiek en nevenrichting algemene plantkunde en de bijvakken vergelijkende fysiologie en pedagogiek en didactiek van de biologie. Na een studie geneeskunde aan dezelfde universiteit slaagde hij in 1971 voor het artsexamen.

Hij begon zijn onderwijspbaan in 1956 als leraar biologie aan het Christelijk Lyceum in Harderwijk. Van 1957 tot 1965 was hij werkzaam aan het Willem de Zwijger Lyceum in Bussum en van 1965-1968 aan het Christelijk Lyceum in Apeldoorn. De bovengenoemde deelbetrekkingen combineerde hij van 1958 tot 1968 met een functie aan het Christelijk Lyceum in 't Gooi te Hilversum, sinds 1969 Comenius College genaamd. In 1968 aanvaardde hij aan deze school een volledige betrekking als leraar biologie. In 1973 werd hij benoemd tot conrector van de bovenbouw van het vwo. In 1989 maakte hij gebruik van een vut-regeling. Daarna was hij tot juli 1999 nog werkzaam aan het Comenius College als docent EHBO en elementaire reanimatie. Sinds 1990 fungeert hij voor 'Het Oranje Kruis' als examinator voor deze vakken.

Woord van dank

In de jaren vijftig maakte ik als student voor het eerst kennis met de didactiek van de biologie, toen ik dit vak koos als bijvak voor het doctoraalexamen biologie. De docent dr. J.C. van der Steen was sterk gericht op de praktische kant van het biologietoelichting. Wat ik zeer heb gewaardeerd, is dat hij voor zijn studenten stages organiseerde bij enkele van de toenmalige coryfeeën onder de biologiedocenten, zoals Horrëus de Haas, Jordan en Van Biezen, die bekend stonden om hun onconventionele aanpak van het biologietoelichting.

Aan het einde mijn onderwijslaan - waarin overigens mijn interesse vooral was gericht op aspecten van de geneeskunde - hernieuwde ik de kennismaking met de in-middels totaal veranderde didactiek van de biologie. Onder leiding van mijn promotor prof. dr. Peter Voogt heeft het biologiedidactisch onderzoek een hoge prioriteit gekregen. Samen met mijn copromotor dr. Cor Koetsier, heeft hij zich bij de begeleiding van mijn promotietoelichting zeer beijverd om mij in te leiden in de beginselen van dit onderzoek. Ik ben hem veel dank verschuldigd voor zijn waardevolle suggesties en voor zijn stimulerende kritiek op mijn pogingen om de onderzoeksresultaten volgens een logische structuur te ordenen. Cor Koetsier ben ik zeer erkentelijk voor zijn constructieve begeleiding bij de opzet en de uitvoering van het onderzoek en bij de verwoording van de resultaten ervan. Morele steun bij het tot een goed einde brengen van het onderzoek ondervond ik in ruime mate van dr. Joop Buddingh'.

Schoolleiding, docenten en onderwijs ondersteunend personeel van het Comenius College in Hilversum hebben mij bij mijn onderzoek veel steun geboden. De rector drs. Sytze Haenen en de plaatsvervangend rector drs. Henk Ruiter hielden mij voortdu-rend op de hoogte van de ontwikkelingen met betrekking tot de nieuwe tweede fase en stelden mij in staat gebruik te maken van de faciliteiten van de school. Met name aan het leerstofontwerp hebben de biologiedocenten Gertjan van Rossum en drs. Huybert Knol en de natuurkundelocenten dr. Barto Oranje en dr. Reinoud Slagter een belangrijke bijdrage geleverd. Praktische hulp ontving ik van de technisch-onderwijsassistenten Anne Duijf en Dirk Sloeserwij en van de systeembeheerder Ben de Haard. Dr. Aart Mosterd was steeds bereid om na te gaan of het vak scheikunde aan bepaalde onderdelen van het leerstofontwerp een bijdrage zou kunnen leveren en drs. Andries Visser bood mathematische ondersteuning bij het Delphi-onderzoek. Verder was een aantal EHBO-leerlingen zo vriendelijk om zelfs na het achtste lesuur nog leerlingenproeven uit te voeren en kritisch te evalueren. Tot slot namen Piet Koomen en drs. Ton van den Brink het leeuwendeel van de Engelse vertaling van de samenvatting voor hun rekening.

Ik heb het erg op prijs gesteld dat docenten en leerlingen van de Katholieke Scholengemeenschap De Breul in Zeist bereid waren om mee te werken aan de empirische toetsing van het uitgewerkte deel van het leerstofontwerp. Onder begeleiding van de biologiedocenten drs. Jan Duiverman en drs. Marie-Anne Platteel hebben de biologie-

leerlingen uit 6-vwo de problemen over de oogfunctie enthousiast en met succes opgelost.

Daarnaast heb ik bij het onderzoek ook de zeer gewaardeerde medewerking gekregen van anderen, namelijk de respondenten van het Delphi-onderzoek, de biologiedocenten die deelnamen aan de workshops, uitgevers, schoolboekenauteurs en medewerkers van pedagogische centra.

De deskundigen op het gebied van de oogheelkunde en de oogheekundige fysica prof.dr. Jan Stilma, prof.dr. Dirk van Norren en dr. Hans Vos ben ik erkentelijk voor hun bereidheid om het leerstofontwerp kritisch te bekijken. Praktische optische hulp werd mij geboden door de optometrist Wim Buffing. Prof.dr. Steven ten Brinke dank ik voor zijn waardevolle suggesties voor de afronding van het proefschrift.

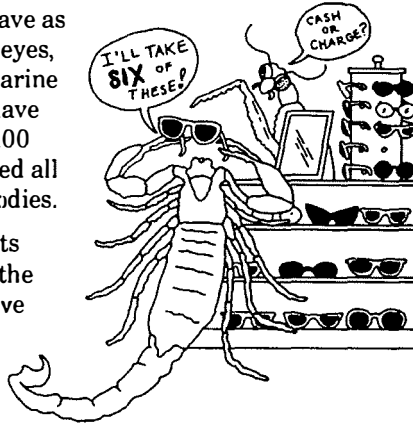
Ook in de huiselijke kring ondervond ik veel steun, onder meer van mijn jongste zoon Ir. Luuk Beeftink die wanneer er iets mis ging met de computer, steeds klaar stond om dit snel en efficiënt te verhelpen en van mijn vrouw Elly die mijn wetenschappelijke aspiraties steeds heeft gestimuleerd.

Those Amazing Animal Eyes...

- ▲ Scorpions have as many as 12 eyes, and some marine flatworms have more than 100 eyes scattered all over their bodies.

- ▲ Because of its many rods, the eye's sensitive cells that provide night vision, the owl can see ten times better in the dark than a human.

- ▲ The chicken has only cones, the cells that provide sharp, daylight vision. And although it can spot the smallest insects in the barnyard dirt during the day, at night the chicken is completely blind and helpless against the invading fox.



Vision, a school program. National Eye Institute. Bethesda:
The association for Research in Vision and Ophthalmology, 1995.