

## Denkramen van leerlingen op het gebied van de geometrische optica

Th. Wubbels

Vakgroep Natuurkunde-Didactiek

Pedagogisch Didactisch Instituut voor de Leraarsopleiding,  
Rijksuniversiteit te Utrecht.

### Summary

*In this paper we describe research about the possibility to formulate categories and frameworks that summarize adequately childrens' conceptions in the field of geometrical optics. Data were gathered from 278 students aged 13-17, with a questionnaire consisting of mainly open-ended questions. It appeared that answers upon the questions could be categorized reliable (Cohens'k , between .78 and .95) although a considerable amount of answers appeared to be classified as 'not categorizable'. As far as the frameworks are concerned we found that two of the three groups of frameworks that we came upon in the literature about childrens' conceptions in optics did not fit well the data. It can be concluded that it is doubtful whether it will be possible to formulate frameworks regarding various parts of the field of geometrical optics.*

### 1. Inleiding

In een eerder artikel (Wubbels 1986a) ben ik ingegaan op leerlingen-voorstellingen bij elementaire begrippen in de geometrische optica. Gepresenteerd werden toen voorstellingen die volgens enkele onderzoeken in het buitenland redelijk frequent onder leerlingen zouden voorkomen. In dit artikel wil ik, aan de hand van in Nederland verzamelde gegevens 1), twee vraagstellingen bespreken. De eerste vraag is of in Nederland soortgelijke voorstellingen bij leerlingen worden aangetroffen als in het buitenland. Verder ga ik in op de vraag in hoeverre het (althans op het gebied van de optica) mogelijk is denkramen te formuleren op basis waarvan voorspellingen over uitspraken van leerlingen in verschillende situaties kunnen worden gedaan. Deze tweede vraag komt met name voort uit verwondering over resultaten die La Rosa e.a. (1984) vermelden en waarop ik in par.3 inq.

La Rosa e.a. (1984) sluiten aan bij een stroming in het vakdidactisch onderzoek die zich concentreert op het identificeren van denkramen die bij (redelijk grote) groepen leerlingen aanwezig zijn. Van deze denkramen wordt verondersteld dat ze ten grondslag liggen aan leerlingenuitspraken in verschillende situaties. Voor de betekenis van de term 'denkramen' wil ik aansluiten bij Gilbert en Watts (1983), die denkramen (frameworks) onderscheiden van denkbeelden (conceptions) en categorieën (categories). Zij noemen denkbeelden het eerste niveau waarop voorstellingen van individuele leerlingen beschreven kunnen worden. Het is een weerspiegeling van een individuele voorstelling van hoe de wereld in elkaar zit in antwoord op een specifieke vraag. Categorieën vormen het tweede, meer gegeneraliseerde, niveau. In categorieën worden denkbeelden van verschillende leerlingen, waarvan de onderzoeker veronderstelt dat ze dezelfde betekenis hebben gegroepeerd. Het derde niveau is dat van de denkramen waarin niet alleen over individuen, maar ook over situaties (antwoorden bij verschillende vragen) is gegeneraliseerd: ze pogen, interpreterend, voorstellingen die aan specifieke denkbeelden in verschillende situaties en bij verschillende leerlingen ten grondslag liggen, in kaart te brengen. Essentieel bij het formuleren van denkramen en categorieën is nu dat de relatie met denkbeelden voldoende bewaard blijft. Voorwaarden daarvoor zijn onder meer dat in een gegeneraliseerde beschrijving voldoende nuances van de leerlingendenkbeelden naar voren komen en dat op basis van denkramen correcte voorspellingen over antwoorden van leerlingen op concrete vragen in verschillende, maar wel verwante situaties kunnen worden gedaan.

In het onderhavige onderzoek zijn uit de literatuur over leerlingenvoorstellingen beschrijvingen van categorieën en denkramen gezocht die op het gebied van de optica onder leerlingen zouden voorkomen. Er werd nagegaan of indeling van leerlingendenkbeelden in deze categorieën en denkramen mogelijk is. Tenslotte is nagegaan in hoeverre voor de denkramen die zijn geformuleerd inderdaad geldt dat ze voorspellingen over uitspraken correct doen.

## 2. Onderzoeksmethode

Ten behoeve van dit onderzoek werden gegevens verzameld met behulp van 7 opgaven (zie fig. 1). De opgaven werden zodanig gekozen dat ze aansloten bij in de literatuur gevonden denkramen. Veelal betreft het vertaalde opgaven. Bij de resultaten zullen de betreffende bronnen worden vermeld. Teneinde voldoende nuanceringen in de leerlingenuitspraken toe te laten waren de antwoordmogelijkheden over het algemeen open, waarbij ook steeds gevraagd werd om het antwoord toe te lichten. Proefversies van de vragen werden in twee ronden mondeling en schriftelijk getest (Walrabenstein 1985), waarbij leerlingen werden geïnterviewd over hun antwoorden en eventuele problemen bij het antwoorden.

## Vraag 1



Ellen en haar natuurkundeleraar praten over zien.

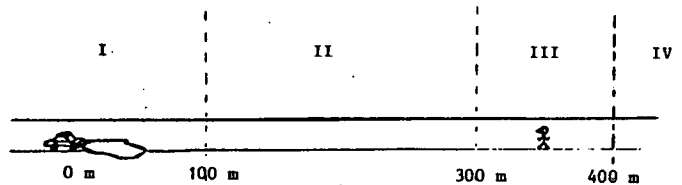
Leraar: Leg eens uit hoe het komt dat je het boek ziet.

Ellen: Er gaan signalen van je ogen naar je hersenen.

Leraar: Ja dat klopt, dat gebeurt tussen je ogen en je hersenen. Maar er is enige afstand tussen je ogen en het boek. Gebeurt er iets tussen je ogen en het boek?

Wat zou jij hier op antwoorden? Verklaar en maak eventueel een tekening.

## vraag 2



Het is een heldere, donkere nacht. Een auto staat geparkeerd op een rechte weg. De lichten van de auto zijn aan. Een voetganger, die op de weg staat, ziet de lichten aan staan. Het tekeningetje is in vieren gedeeld in welk(e) gedeelte(n) is er licht?

## Vraag 3

Je staat voor een spiegel. Zet een kruis (X) op de plaats waar je je spiegelbeeld ziet.

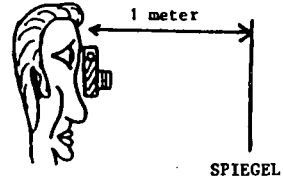


Figuur 1. Vragenlijst over situaties die met optische verschijnselen te maken hebben. De antwoordruimte is hier waar mogelijk weggelaten. Bij alle vragen werd expliciet naar verklaringen gevraagd, zoals in de volledig weergegeven vraag 5.

vervolg figuur 1

vraag 4

Misschien weet je al dat je een fototoestel op verschillende afstanden kunt instellen. Alleen voorwerpen die op de ingestelde afstand staan komen scherp op de foto.

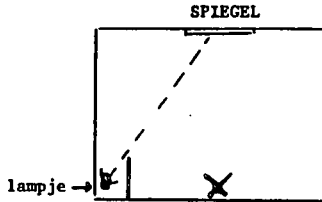


We hebben een fototoestel op 1 meter afstand van een spiegel gezet. Op welke afstand zou je het toestel instellen zodat je een scherpe foto van het toestel zelf krijgt.

Vraag 5

We hebben een kamer helemaal zwart en donker gemaakt.

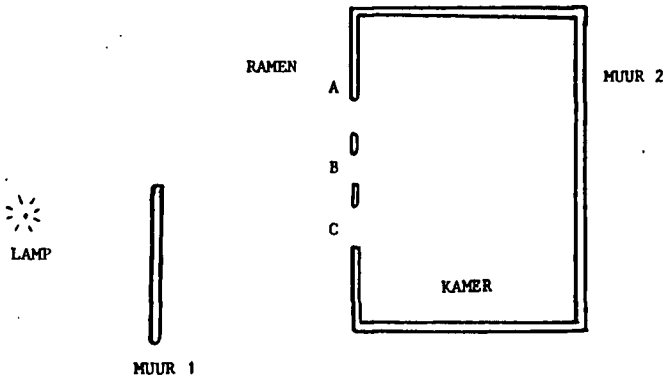
Je staat bij het kruisje (x) in de kamer. In een hoek staat een lamp achter een schot, zodat jij de lamp niet ziet staan. Tegenover je staat een spiegel. De lamp zendt een dunne lichtstraal uit. Het stippelijntje geeft de richting van de lichtstraal aan.



- a) Kun je de spiegel zien? Ja / Nee, omdat.....
- .....
- b) Kun je in de spiegel het licht zien? Ja / Nee, omdat.....
- .....
- c) Kun je jezelf in de spiegel zien? Ja / Nee, omdat.....
- .....

vervolg figuur 1

Vraag 6



Kijk naar het plaatje. Je ziet hier een huiskamer van boven af. Je staat in de kamer en de ramen zijn open.

a) Vanachter welke ramen kun je de lamp zien?

Antw: raam (ramen).....

b) Welk(e) raam(ramen) wordt(worden) verlicht door de lamp?

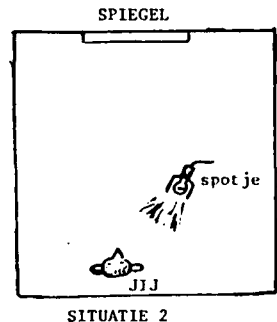
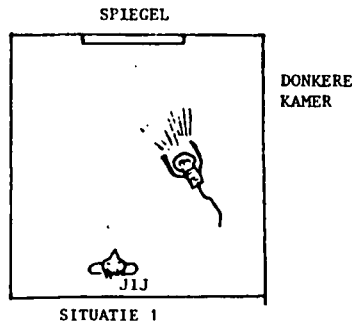
Antw: raam (ramen). ....

c) Is muur 2 verlicht? Ja / Nee

Zo ja, geef dan in de tekening aan op welke plaatsen.

Vraag 7

In een donkere kamer sta je tegenover een spiegel.  
In situatie 1 staat een klein spotje gericht op de spiegel.  
In situatie 2 staat het spotje op jou gericht.  
In welke situatie zie je jezelf het beste?



Op grond van deze gegevens werd de vragenlijst twee keer bijgesteld. De vragenlijst is afgenomen aan 278 HAVO-leerlingen op 2 scholen uit 2e, 3e en 4e klassen. Voor afname in 3 verschillende leerjaren werd gekozen in verband met vergelijkbaarheid van resultaten voor de eerste vraagstelling met de onderzoeken van Andersson en Kårrqvist (1983) en Jung (1981b). Bij de verwerking van de gegevens voor de tweede vraagstelling is onderscheid gemaakt tussen leerlingen die wel opticaonderwijs hadden gevolgd en zij die dat niet hadden gevolgd (resp. 156 en 122).

### 3. Resultaten

#### 3.1 Indeling in categorieën

Alle antwoorden werden door twee onafhankelijke beoordelaars ingedeeld in categorieën in de zin van par. 1. Over het algemeen werden categorieën gebruikt die we ontleenden aan de publicaties waaraan ook de betreffende vragen waren ontleend. Daarbij kwam het meestal voor dat in verband met interpretatieproblemen een extra categorie moest worden gevormd: niet in te delen antwoorden.

Bij de tekening uit figuur 2 kun je je bijvoorbeeld afvragen of de leerling een teruggekaatste lichtstraal tekent, of dat hij aangeeft dat de persoon kijkt naar de plek waar de lichtstraal op de spiegel komt. Dergelijke interpretatieproblemen kunnen worden verminderd door een meer gesloten vragenlijst te gebruiken. Dit geeft echter alleen schijnbaar eenduidiger resultaten.

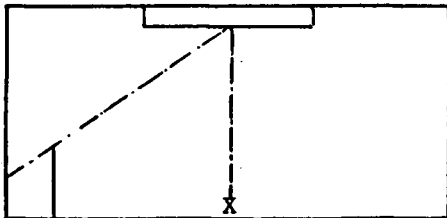


Fig.2  
Voorbeeld van moeilijk interpreteerbare tekening.

Op verschillende punten kan de vraag worden gesteld in hoeverre bepaalde specifieke kenmerken van tekeningen of formuleringen in de vraagstelling de beantwoording beïnvloeden, zoals het tekenen van de werkaatsing van autolichten op de grond bij opgave 2. Dergelijke kanttekeningen bij de vraagstellingen en de problemen met interpretaties geven aanleiding te stellen dat bij het herzien van de vragenlijst de mogelijke interpretatieproblemen te weinig aandacht hebben gekregen. Het is achteraf vrij verbazingwekkend dat dergelijke problemen bij de buitenlandse onderzoeken waaraan de vragen ontleend waren niet worden vermeld.

De twee beoordelaars deelden 88% van de antwoorden overeenkomstig in; de interbeoordelaarsbetrouwbaarheid (Cohens  $\kappa$ , Cohen 1968) was gemiddeld .84 en varieerde per vraag van minimaal .78 tot maximaal .92. Een herhaling van de indeling door één van de beoordelaars zes weken later gaf een overeenstemming variërend per vraag van 91 tot 99% en een betrouwbaarheid (Cohens  $\kappa$ ) van .84 à .95.

Geconstateerd kan worden, dat een redelijk betrouwbare indeling in categorieën mogelijk is, mits een (niet onaanzienlijk) deel (gemiddeld 11% en bij een vraag zelfs 21%) der antwoorden als niet interpreteerbaar terzijde wordt gelegd. Ik kom hierop bij de conclusies terug.

De rijke nuanceringsen die kenmerkend blijken te zijn voor leerlingenuitspraken gaan verloren bij het indelen in een beperkt aantal gesloten categorieën. Wanneer bijvoorbeeld een leerling bij vraag 1 antwoordt dat je het boek ziet, doordat licht van de zon weerkaatst op het boek en in je oog komt geeft dat duidelijkheid over de indeling in de categorie 'licht vanaf het boek komt je oog binnen'. Aan het antwoord van deze leerling die ook de volgende tekening maakte (fig.3), is echter veel meer te ontdekken. Wat zou zo'n leerling zeggen als ik de zon op een andere plaats teken? Wellicht dat dan het proces van diffuse terugkaatsing bovenkomt.

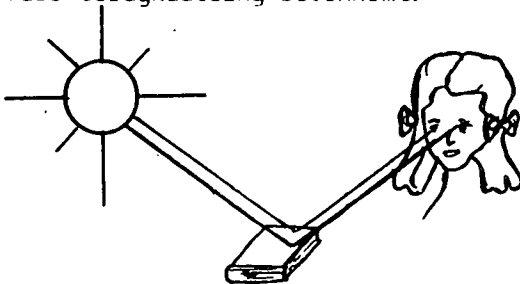


Fig.3

Voorbeeld van een antwoord waarvan veel nuanceringsen niet in de categorieën tot uitdrukking komen.

De indeling van de antwoorden in categorieën wordt elders (Walrabenstein 1985) uitvoeriger besproken. Ze levert globaal gesproken resultaten op die vergelijkbaar zijn met de resultaten uit het buitenland. De tendens lijkt alleen aanwezig dat in Nederland na opticaonderwijs in de onderbouw wat meer antwoorden dan in Zweden in categorieën kunnen worden ingedeeld die fysisch als correct kunnen worden aangemerkt (Wubbels 1986b).

### 3.2 Denkramen

In de literatuur werden voor drie aspecten van de geometrische optica denkramen gevonden. We gaan voor deze aspecten na of we voor onze respondenten konden vaststellen welk denkraam ze zouden hebben en in hoeverre deze denkramen correcte voorspellingen over leerlingenuitspraken opleveren.

## Denkramen t.a.v. licht en zien

Het opvallendste kenmerk van een veel voorkomend leerlingendenkbeeld bij optische verschijnselen zou zijn een scheiding tussen enerzijds licht als een fysisch verschijnsel (Jung 1981b, Watts 1985, Wubbels 1986a) en anderzijds zien. Eigenschappen van licht zouden bij leerlingen weinig gekoppeld zijn aan het zien. Uit Jungs resultaten blijkt bijvoorbeeld dat veel leerlingen zeggen dat licht voorwerpen verlicht, zodat ze oplichten (en gezien kunnen worden). Dat voor dat zien licht in het oog moet komen wordt veelal echter niet als voorwaarde gezien (verg. Guesne 1984 en Stead en Osborne 1980). Dit resultaat wordt bevestigd door Andersson en Kårrqvist (1983) die verder benadrukken dat (Zweedse) leerlingen licht niet los kunnen zien van zijn bron of effecten.

In hoeverre Nederlandse leerlingen een denkraam hanteren waarin 'zien' niet verbonden is met 'licht in het oog' hebben we onderzocht met behulp van de vragen 1 en 2 (fig. 1), ontleend aan Andersson en Kårrqvist (1983). Wanneer we op grond van hun antwoorden bij vraag 1 leerlingen selecteren die menen dat er om het boek te zien geen licht in hun oog hoeft te komen mag verwacht worden dat deze leerlingen bij vraag 2 over het algemeen zullen antwoorden dat er alleen licht in gebied I en II is. Evenzo kunnen we veronderstellen dat leerlingen die menen dat er licht van het boek in hun oog komt denken dat het licht minstens in gebied III komt. Bij deze laatste leerlingen zou sprake zijn van een denkraam waarin 'zien' en 'licht in het oog' wel gekoppeld zijn. Voor een (relatief beperkt) aantal leerlingen kon op basis van de antwoorden bij vraag 1 worden vastgesteld in hoeverre er sprake was van een 'ontkoppelde' resp. 'gekoppelde' opvatting (Tabel 1) 3).

Vraag 1	'ontkoppeld'	licht in het oog	niet indeelbaar
			40 60
Vraag 2			
licht in I	7 16	17 13	
en II			
licht minstens			
in III	16 10	56 8	

Tabel 1. Frequentieverdeling van antwoorden over verschillende denkramen bij vraag 1 en 2 (rechttop leerlingen die wel en cursief leerlingen die geen opticaonderwijs hebben gehad). Omcirkeld zijn de cellen waarin antwoorden verwacht konden worden.



Een antwoord van de eerste groep is bijvoorbeeld: Er gebeurt niets tussen oog en boek. Een antwoord als 'licht wordt weerkaatst door het boek en gaat naar je ogen' valt in de tweede groep. De resultaten geven alleen voor leerlingen die opticaonderwijs hebben gehad een redelijke bevestiging van de uitgesproken verwachting over leerlingen met een 'gekoppeld' denkraam. Bij leerlingen met een volgens vraag 1 'ontkoppeld' denkraam worden bij de tweede vraag zowel antwoorden gevonden die in overeenstemming zijn met de verwachting als antwoorden die niet kloppen met die verwachting. Een voorbeeld van zo'n leerling die zich anders uit dan de verwachting was, is de leerling die de volgende antwoorden geeft:

vraag 1. Ja, er komen lichtstralen van het boek naar je ogen.

vraag 2. In 1, want hij is er heel ver vandaan, dus daarom is er bij hem geen licht, maar hij ziet de lampen wel.

We moeten voorzichtig zijn met het trekken van conclusies uit deze analyse bijvoorbeeld omdat er bij het indelen in denkramen interpretatieproblemen voorkomen.

De analyse geeft aanleiding te veronderstellen dat bij een aanzienlijk deel van de leerlingen er geen sprake is van het consequent hanteren van de genoemde denkramen. De ont koppeling van 'licht als fysisch verschijnsel' en 'zien' zou dan geen denkraam zijn dat stabiel is over situaties. Het is echter ook mogelijk dat de vraagstellingen geen adequate operationalisatie van de denkramen vormen.

#### Denkramen t.a.v. spiegelbeelden

Een tweede onderwerp betreft door Jung (1982) gesignaleerde leerlingendenkramen t.a.v. de plaats van een spiegelbeeld bij een spiegel. Dit onderwerp werd onderzocht met vraag 3 en 4 (fig. 1), ontleend aan Jung (1981b). Een aanzienlijk aantal leerlingen zegt dat bij een spiegel het spiegelbeeld van voorwerpen zich op het spiegeloppervlak bevindt en denkt daarbij dat het fototoestel uit vraag 4 op 1 m moet worden ingesteld. Jung constateert ook dat nogal wat leerlingen menen dat het spiegelbeeld op de spiegel ligt maar toch zeggen dat het fototoestel uit vraag 4 op 2 m moet worden ingesteld omdat 'het licht heen en weer moet'. Verwacht mag tenslotte worden dat in hoofdzaak leerlingen die menen dat het spiegelbeeld op 1 m achter de spiegel ligt zullen zeggen dat het fototoestel op 2 m moet worden ingesteld, met een fysisch juiste toelichting.

Tabel 2 geeft de resultaten. Een relatief groot aantal leerlingen valt onder de drie denkramen die verwacht worden. Een geringer aantal dan bij het vorige onderwerp (wellicht dankzij een eenduidiger vraagstelling) geeft antwoorden die niet begrepen kunnen worden vanuit de geformuleerde denkramen. Dit betreft bijvoorbeeld een klein aantal

vraag 3	spiegelbeeld op de spiegel		spiegelbeeld 1 m achter de spiegel		niet indeelbaar	
					11	15
vraag 4						
1 m	47	37	10	1		
2 m omdat licht heen en weer moet	14	12	5	2		
2 m 'juiste' toelichting	10	6	30	9		

Tabel 2. Frequentieverdeling van antwoorden over verschillende denkramen bij vraag 3 en 4. Rechtop leerlingen die wel en cursief leerlingen die geen opticaonderwijs hebben gehad. Omcirkeld zijn de cellen waarin antwoorden verwacht konden worden.

leerlingen (4,3%) die zeggen dat het spiegelbeeld vlak voor de spiegel ligt maar desondanks menen dat het fototoestel op 1 m moet worden ingesteld. Bij de 10 leerlingen die wel menen dat je spiegelbeeld achter de spiegel ligt, maar toch het fototoestel op 1 m in willen stellen zou sprake kunnen zijn van gedeeltelijk geslaagd onderwijs. Het kruis achter de spiegel kan betekenen 'het spiegelbeeld lijkt achter de spiegel te liggen', maar het antwoord over het fototoestel zegt 'maar in werkelijkheid ligt het erop' (verg. Jung 1981a).

#### Denkramen t.a.v. spiegelen en zien

Het meest samengestelde systeem van denkramen op het gebied van de optica wordt beschreven door La Rosa et al. (1984). Zij gebruikten opgaven zoals de door ons gebruikte opgaven 5 en 6 (fig. 1). Ook Jung (1981a) gebruikt opgave 5 als sleutelvraag om opvattingen over spiegelen en zien te onderzoeken.

Wanneer een leerling bij deze opgave zegt dat je de spiegel kunt zien, is er volgens La Rosa e.a. sprake van de eerder beschreven ontkoppeling tussen 'zien' en 'licht als fysisch verschijnsel' 4). La Rosa e.a. combineren de antwoorden op vraag 5a, 5b en 6 in vier verklarende 'denkramen' voor de leerlingenantwoorden (fig. 4). De validiteit van het systeem wordt verdedigd door te verwijzen naar het feit dat ze alle individuen uit hun steekproef in één van de vier denkramen konden indelen. 5) Deze indeling kwam tot stand door op basis van het antwoord bij opgave 5a te beslissen of er sprake was van denkraam D enerzijds of de denkramen A, B of C anderzijds. Het onderscheid tussen denkraam A, B en C werd gemaakt op basis van de tekening bij opgave 6.

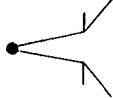
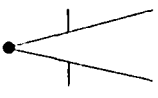
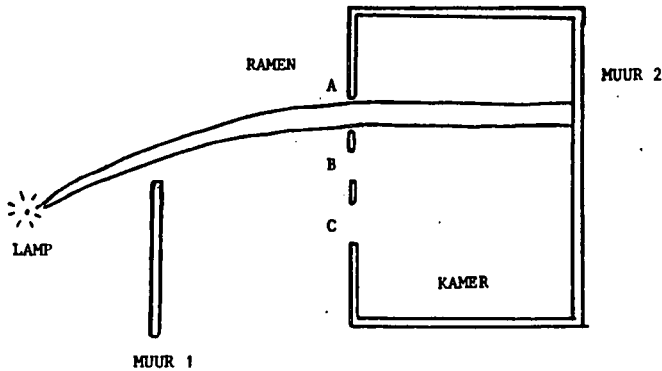
Frame	Characteristics	Features of answers to questions
A	Light fills up space, and goes around obstacles. Light permits us to see objects that are reached by visual rays.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● absence of graphical representations;</li> <li>● the mirror is seen because light falls over it;</li> <li>● the light on the mirror is seen because one looks toward the mirror.</li> </ul>
B and C	<p>As for frame A, but with the difference that light rays obey Euclidean rules.</p> <p>In frame B the separation between light and shade is defined by straight lines deflected by obstacles.</p> <p>In frame C the separation is always given by straight lines.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Lamp Frame B</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Lamp Frame C</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● graphical representations corresponding to the schemes</li> <li>● the mirror is seen because light falls over it (frame B) or may not be seen because the intensity of light is low (frame C);</li> <li>● the light on the mirror is seen because one looks toward the mirror;</li> </ul>
D	Correct geometrical optics	<ul style="list-style-type: none"> <li>● correct graphical representation;</li> <li>● the mirror is not seen;</li> <li>● the light on the mirror is not seen.</li> </ul>

Fig.4 Overzicht van vier denkramen die door La Rosa e.a. (1984) zijn geformuleerd om de antwoorden bij vraag 5 en 6 te interpreteren.

Het antwoord op 5b vinden we wel terug in de omschrijving van de denkramen, niet in het voorschrift om respondenten in te delen. De steekproef bestond uit 63 leerlingen van 16-17 jaar oud die geen opticaonderwijs hadden gehad.

In het onderhavige onderzoek werd nagegaan in hoeverre ook onze respondenten op deze wijze in groepen konden worden ingedeeld. Bij de indeling op basis van vraag 5a bleek één antwoord dat La Rosa e.a. niet noemen redelijk frequent voor te komen. Ongeveer 10% van de leerlingen meent dat de spiegel niet gezien kan worden omdat je ver-



Figuur 5. Voorbeeld van een tekening bij vraag 6 op basis waarvan niet vastgesteld kan worden over welk van de door La Rosa e.a. genoemde denkramen de leerling die dit antwoord gaf zou beschikken.

blind wordt. We hebben deze leerlingen ingedeeld bij de denkramen A, B en C. Ook bij 5b en 5c hebben we dergelijke antwoorden (14% resp. 19%) ingedeeld bij de categorie 'wel zien'. Daarna bleek toch nog 29% van de respondenten (zowel met als zonder opticaonderwijs) niet eenduidig in één van de vier denkramen ingedeeld te kunnen worden. Een voorbeeld van een niet in te delen antwoord wordt gegeven in figuur 5. Een manier van tekenen zoals in dit geval vertoont overeenkomst met het uitsluitend horizontaal tekenen van lichtstralen zoals dat door Guesne (1984) wordt gesignaleerd. Onduidelijk is in dat geval tot welk van de denkramen A, B of C de tekening van figuur 5 gerekend zou moeten worden. Er is nagegaan of alle antwoorden bij vraag 5b en 5c en de door ons toegevoegde vraag 7 overeenstemden met hetgeen op basis van figuur 4 verwacht mag worden. Bij vraag 5b voorspelt figuur 4 direct een antwoord. Verondersteld kan worden dat leerlingen voor wie denkraam D kenmerkend is bij vraag 5c zullen antwoorden dat ze zichzelf niet in de spiegel zien. Tenslotte mag verwacht worden, dat leerlingen voor wie denkraam D kenmerkend is bij vraag 7 zullen aangeven dat situatie 2 de beste is om jezelf goed te zien.

Tabel 3 geeft de resultaten van het combineren van de aan respondenten toegekende denkramen met antwoorden op andere vragen. De indeling in vier denkramen blijkt lang niet in alle gevallen een correcte voorspelling te geven van de leerlingenantwoorden bij vraag 5b, 5c en 7. Het meest opvallend zijn de relatief grote aantallen leerlingen met denkraam C die bij vraag 5b en 7 een ander antwoord geven dan voorspeld is. Bij vraag 7 zijn ook de afwijkingen voor denkraam B en D

denkraam	A	B	C	D	niet indeelbaar
					34 45
vraag 5b					
licht in spiegel te zien	1 2	4 7	37 27	10 4	
licht niet te zien	0 2	1 9	38 17	22 3	
vraag 5c					
je kunt jezelf zien	1 4	3 11	53 34	8 3	
je kunt jezelf niet zien	0 0	2 4	24 10	24 6	
vraag 7					
situatie 1	1 0	1 3	16 13	11 2	
situatie 2	0 1	5 5	34 18	15 5	

Tabel 3. Frequentieverdeling van antwoorden over verschillende denkraamen en antwoorden op vraag 5b, 5c en 7. Rechttop leerlingen die wel en cursief die geen opticaonderwijs hebben gehad. Omcirkeld zijn de cellen waarvan verwacht kan worden dat er antwoorden in komen.

aanzienlijk. Dit resultaat wijst erop dat de koppeling tussen een opvatting over de werking van een spiegel en het zien niet zo eenduidig is bij onze respondenten als bij die van La Rosa e.a. Wanneer je meent dat je de spiegel kunt zien (vraag 5a) zegt dat iets over de voorstelling van de werking van een spiegel: bijvoorbeeld een fysisch niet juiste terugkaatsingswet hanteren en/of geen onderscheid maken tussen diffuse en spiegelende terugkaatsing. Zulke voorstellingen kunnen blijkbaar goed samengaan met de gedachte dat belichten van een voorwerp nodig is om dat voorwerp in de spiegel te kunnen zien. Moeilijker te begrijpen vind ik het omgekeerde geval waarin leerlingen enerzijds menen de spiegel niet te kunnen zien (denkraam D) maar toch bij 5b, 5c en 7 afwijkend van dat denkraam antwoorden. Natuurlijk kan dit het gevolg zijn van het op verkeerde gronden zeggen dat de spiegel niet wordt gezien. In dat geval zou de opgave ontoereikend zijn om het optreden van denkraam D vast te stellen. Het kan ook zo zijn dat er voor deze leerlingen een andere consistentie is in hun denken dan fysische consistentie.

#### 4. Conclusies

Wanneer we de resultaten overzien blijkt het in dit onderzoek mogelijk om leerlingenantwoorden betrouwbaar in categorieën in te delen. Daarbij was het wel nodig een flink aantal antwoorden in een restcategorie (niet-interpreteerbaar) in te delen. Ook het indelen in denkramen was mogelijk, wederom met de aantekening dat bij een flink aantal respondenten niet kon worden vastgesteld of ze over een bepaald denkraam beschikten of niet. Bovendien is het betrouwbaar in kunnen delen nog geen garantie dat de indeling ook valide is.

De mogelijkheid bestaat, dat bij het mondeling ondervragen van leerlingen een indeling in categorieën en denkramen minder twijfelgevallen oplevert doordat doorgevraagd kan worden terwijl ook de validiteit van de indeling dan beter gecontroleerd kan worden. Overigens moet worden opgemerkt dat de onderzoeken van Jung (1981b), Andersson en Kårrqvist (1983) en La Rosa e.a. (1984) ook gebruik maakten van schriftelijke vragenlijsten zonder de mogelijkheid van doorvragen. Jung en Andersson en Kårrqvist rapporteren dan ook dat een aantal antwoorden niet kon worden ingedeeld; La Rosa e.a. echter niet.

De voorspellingen over antwoorden op basis van aan respondenten toegedachte denkramen blijken alleen bij de denkramen betreffende de plaats van het spiegelbeeld goed in overeenstemming met de gegeven antwoorden. Voor de onderwerpen 'spiegelen en zien' en 'licht en zien' geven de denkramen voor veel leerlingen geen goede voorspellingen van antwoorden. De opzet van ons onderzoek is zodanig dat dit resultaat te voorlopig is om te stellen dat de betreffende denkramen niet houdbaar zouden zijn. De oorzaak van onze resultaten kan ook gelegen zijn in eigenaardigheden van de gebruikte vragenlijst. Onderzoek met behulp van interviews lijkt daarom aangewezen. De resultaten van het gepresenteerde onderzoek geven echter wel aanleiding te veronderstellen dat de poging van Jung om denkramen betreffende het spiegelbeeld te formuleren redelijk geslaagd lijkt. De poging van La Rosa e.a. lijkt veel minder geslaagd. Daarbij moet worden opgemerkt dat de denkramen betreffende de plaats van het spiegelbeeld ook veel meer op analoge situaties betrekking hebben dan die betreffende het spiegelen en zien. Gezien de rijke schakering van antwoorden op afzonderlijke vragen en het voorkomen van soms diametraal tegenover elkaar staande antwoorden in analoge situaties, durf ik wel twijfel uit te spreken over de mogelijkheid om denkramen op het gebied van de optica te formuleren die wat verder van elkaar liggende situaties omvatten en betrekking zouden hebben op grote aantallen leerlingen. Nader onderzoek op dit gebied kan gezien de genoemde interpretatieproblemen en de vele nuances die in die antwoorden voorkomen voorlopig beter met behulp van interviews worden verricht dan met schriftelijke vragenlijsten.

## Noten

1. Voor de dataverzameling en verwerking ben ik dank verschuldigd aan R.Ceelen, W.Walrabenstein en J.Straver.
2. In de opgaven van Jung (1981b) en La Rosa et al (1984) wordt nog vermeld dat de kamer stofvrij was. Uit interviews is gebleken dat dit voor de meeste leerlingen geen betekenisvolle toevoeging was terwijl het hun antwoorden niet beïnvloedde.
3. Deze indeling geschiedt net als bij de volgende vragen door samenvoeging van de categorieën van de oorspronkelijke indeling. Bij sommige van die categorieën kan niet worden gezegd of ze wel of niet onder het denkraam vallen. Ook inspectie van de oorspronkelijke antwoorden bood geen uitkomst.
4. Toen Ceelen en Walrabenstein de proef uitvoerden bleek dat in de praktijk op de spiegel iets te zien is: een schittering door het niet volkomen glad zijn van de spiegel. We nemen aan dat leerlingen geen ervaringen met dit verschijnsel hebben en hun antwoord daardoor niet is beïnvloed. Maar er zijn ook andere elementen in de vraagstelling (bijv. de idealisering van de situatie) waardoor de conclusie van La Rosa e.a. wel eens te snel zou kunnen zijn.
5. Dit is overigens een onvoldoende verdediging. Het is hoogstens een voorwaarde voor validiteit.

Literatuur

- Andersson, B. en Karrqvist, Ch. How Swedish pupils, aged 12-15 years understand light and its properties, *European Journal of Science Education*, 5(4), 387-402, 1983.
- Cohen, J. Weighted Kappa: Nominal scale agreement with provision for scaled agreement with provision for scaled disagreement or partial credit, *Psychological Bulletin*, 70(4), 213-220, 1968.
- Gilbert, J.K. en Watts, D.M. Concepts, misconceptions and alternative conceptions. Changing perspectives in Science Education, *Studies in Science Education*, 10, 67-98, 1983.
- Guesne, E. Die Vorstellungen von Kindern über Licht (vertaald uit het Frans), *Physica Didactica*, 11, 79-98, 1984.
- Jung, W. Erhebungen zu Schülervorstellungen in Optik (Sekundarstufe I), *Physica Didactica*, 8, 137-153, 1981a.
- Jung, W. Ergebnisse einer Optik-Erhebung, *Physica Didactica*, 9, 19-34, 1981b.
- Jung, W. Fallstudien zur Optik, *Physica Didactica*, 9, 199-220, 1982.
- La Rosa, C., Mayer, M., Patrizi, P. en Vicentine-Missoni. Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light, *European Journal of Science Education*, 6(4), 387-397, 1984.
- Stead, B.F. and Osborne, R.J. Exploring students' concepts of light, *Australian Science Teacher Journal*, 26(3), 84-90, 1980.