

## Inventarisatie van misconcepties in de optica

R.E.A.Bouwens en G.Verkerk  
Technische Universiteit Eindhoven

### Summary

*In the Department of Physics of the Eindhoven University of Technology research is carried out about misconceptions in the field of geometrical optics. The research reported here regards pupils in pre-university and general high schools. The pupils are between 15 and 18 years of age. After a pilot-study, which was intended to gather as many pupils' conceptions as possible, a list of misconceptions was made. This list consists of categories which were the startingpoint for developing a questionnaire of 42 statements. The questionnaire was administered to 639 pupils of five schools, representing some spread in age and ability level. One of the conclusions of the research project is that a discrepancy exists between the theoretical knowledge of a pupil and his or her ability to use this knowledge in practical situations. In practical situations pupils tended to answer predominantly on the basis of misconceptions, whereas in questions related to theoretical problems the misconceptions tended to be less influential.*

### 1. Inleiding

In het kader van een onderzoek naar het onderwijs in de optica (in de bovenbouw havo-vwo), hebben wij een (voor-)onderzoek gedaan naar misconcepties. Jung (1981) onderscheidt in onderzoek naar pré- en misconcepties drie doelstellingen.

- *vaststellingsanalyse*

Het inventariseren van de voorstellingen, die leerlingen op een bepaald vakgebied hebben: een momentopname.

- *oorzakenanalyse*

Het nagaan van de oorzaken van de aangetroffen voorstellingen: komen ze voort uit ervaringen in het dagelijks leven, uit de structuur van het vak of uit het onderwijs.

- *functie-analyse*

Het vinden van samenhang tussen de voorstellingen van een leerling, zodat de causaliteiten en betrekkingen in zijn denk-

kader opgehelderd worden. Deze analyse kan de basis worden om in te grijpen in het kennisverwerkingsproces van de leerling.

Het hier te beschrijven misconceptie-onderzoek is voornamelijk een vaststellingsanalyse. Het is de bedoeling daarna te komen tot een functie-analyse en hiermee een bijdrage te leveren tot curriculumontwikkeling. Hoewel wij in sommige gevallen wel kort ingaan op de oorzaken van de aangetroffen voorstellingen, in het bijzonder die welke ook terug te vinden zijn in de historische ontwikkeling van het vakgebied, hebben wij geen systematisch onderzoek naar oorzaken gedaan.

In dit artikel wordt allereerst ingegaan op de relevantie van misconcepties voor de begripsvorming. Verder wordt beschreven hoe misconcepties verzameld zijn. Voorafgaand aan de definitieve samenstelling van een schriftelijke enquête, teneinde misconcepties in de optica vast te stellen, zijn interviews afgenomen. Hier wordt in dit artikel niet op ingegaan. Wel komen de resultaten van de enquête aan de orde. Een statistische verwerking van deze resultaten heeft geleid tot een aantal conclusies en aanbevelingen.

## **2. Begripsvorming uitgaande van misconcepties**

Voortdurend ervaren leraren dat leerlingen uitvoerig behandelde stof na korte tijd weer vergeten zijn. Het gebeurt zelfs regelmatig dat een hele klas zegt: "Meneer, dat hebben we nog nooit gehad", terwijl gemakkelijk aan te tonen is dat het onderwerp in voorafgaande lessen wel degelijk aan de orde is geweest. Echter, de leerlingen hebben de leerstof "niet emotioneel aanvaard", het behandelde onderwerp behoort (nog) niet tot hun cognitieve bagage. Wanneer zij geplaatst worden in nieuwe (probleemsituaties) blijkt het geleerde niet te functioneren.

Het gehele leerproces met alle aspecten van selecteren en opnemen van kennis en vaardigheden, de wisselwerking ervan met en de inpassing in het tot dan toe opgebouwde kennisbestand, is onderwerp van de leerpsychologie. We zullen hier slechts in beperkte mate ingaan op een enkel aspect, namelijk de vraag hoe de reeds aanwezige kennis van een leerling het leren van nieuwe concepten en theorieën beïnvloedt. Ausubel (1968) merkt hierover op: "the most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly."

Het leerproces is een traag verlopend proces en naarmate in de aangeboden leerstof meer aanknopingspunten zitten met de bestaande kennisstructuur, zal de leerwinst groter zijn. In het leerproces is er niet zo zeer sprake van opname dan wel van aanvaarding: de leerling moet de aanknopingspunten herkennen en tevens inzien dat de nieuwe stof leidt tot verbetering van en aanvulling op het reeds verworven kennisbestand.

Naast correcte concepten die een goede basis vormen voor nieuwe leerstof, kan de aanwezige kennis ook misvattingen of "misconcepties" bevatten. Deze vormen een belemmering voor het aanvaarden van concepten en theorieën, die wetenschappelijk geldig worden geacht. Vaak is de leraar zich onvoldoende bewust van de aanwezigheid en de persistentie van bepaalde misvattingen. Hij zal er in zijn onderwijs dan ook weinig of geen rekening mee houden. Men kan misconcepties daarentegen ook expliciet in het leerproces plaatsen omdat zij deel uitmaken van de beginsituatie van de leerling. De docent moet dan niet alleen de misconcepties kennen, maar ook strategieën en methoden gebruiken om de leerling duidelijk te maken dat zijn opvatting fout is en dat die (bijvoorbeeld empirisch) weerlegd kan worden. Met deze strategieën wordt dus de bestaande cognitie van de leerling, in het bijzonder van de misvattingen, aangevallen.

### **3. Verzameling van misconcepties in de optica**

Het opsporen van misconcepties kan men op een aantal manieren aanpakken. Het ligt voor de hand eerst de bestaande literatuur te raadplegen. Enkele vakdidactische onderzoekers in binnen- en buitenland hebben zich de afgelopen jaren beziggehouden met misconcepties in de optica (zie literatuurlijst). Deze literatuur heeft voornamelijk betrekking op onderbouw-leerlingen die nog geen onderwijs in de optica hebben gehad, terwijl ons onderzoek zich richt op bovenbouw-leerlingen. Een tweede manier om misvattingen te vinden is bestudering van de historische ontwikkeling van het vakgebied. Deze historische ontwikkeling, tesamen met het onderzoek dat heeft geleid tot het pakket van principes en theorieën van het vakgebied, is een convergerend proces. In dat proces moesten tegenslagen overwonnen worden, onjuiste hypothesen en theorieën weerlegd worden en technische barrières uit de weg geruimd worden. Men kan in de ontwikkeling een lijn, een opeenvolging van ideeën, experimenten en ontdekkingen onderscheiden, die in positieve zin iets hebben bijgedra-

gen tot de ontwikkeling van het vakgebied. Maar men kan ook een negatieve lijn herkennen van hindernissen, onjuiste hypothesen en misvattingen die overwonnen moesten worden. Veel van de onjuiste hypothesen en misvattingen komt men tegen in de ideeën van de leerlingen. Een derde manier om misvattingen te vinden is om goed naar leerlingen te luisteren, bijvoorbeeld in klassesituaties. Wat voor vragen stellen ze, wat bedoelen ze met hun vraag en wat voor antwoorden geven ze op een open vraag, wat zijn de ideeën achter het antwoord. De achtergrond van onbegrip of foute antwoorden, zowel bij goede als bij slechte leerlingen, is soms terug te voeren tot misconcepties die hun basis vinden in de dagelijkse leefwereld.

Het verzamelen van misvattingen heeft geleid tot een lijst van circa zeventig misvattingen op het gebied van de optica, die wij verdeeld hebben over een zestal categorieën. Deze categorieën zijn:

*a. eigenschappen van licht, wat is licht.*

Veel misvattingen over licht handelen over de vraag wat licht is. Dit is niet verwonderlijk als men terugkijkt naar de vele theorieën over licht, te beginnen bij die van Plato en eindigend bij de golf-deeltjes-dualiteit aan het begin van deze eeuw. Zo wordt licht bijvoorbeeld gezien als een statisch verschijnsel dat de ruimte vult zoals lucht. Ook wordt licht wel geïdentificeerd met de bron (een lamp of de zon) of met het effect van een lichtbron (een lichtvlek op de muur).

*b. voortplanting van licht, rechtlijnigheid.*

De voortplanting van licht hangt nauw samen met de voorplantingssnelheid. Newton zag als eerste in dat licht een eindige voorplantingssnelheid heeft en pas in 1854 was Foucault in staat de lichtsnelheid vrij nauwkeurig te bepalen. Zo denkt men bijvoorbeeld dat licht een oneindige voortplantingssnelheid heeft omdat een ruimte geheel verlicht wordt op het moment dat een lamp wordt aangestoken. Met betrekking tot de rechtlijnige voortplanting denken sommigen dat licht om een hoek kan buigen, omdat een kamer met slechts een klein venster geheel verlicht wordt.

*c. interactie van licht met voorwerpen.*

De categorie wisselwerking van licht met voorwerpen bevat onder andere misvattingen die terug te voeren zijn tot onbegrip over het verschil tussen spiegelende en diffuse reflectie. Men ziet ook vaak niet in, dat lichtstralen alleen gezien kunnen

worden na wisselwerking met bijvoorbeeld stofdeeltjes of dampdruppels.

*d. zien.*

Veel misvattingen in deze categorie berusten op de ontkoppeling van zien en licht. Zo vindt men het niet nodig dat lichtstralen van een voorwerp in het oog moeten komen om het voorwerp te kunnen zien. Men "werpt een blik op" het voorwerp. Er gaan dus stralen uit het oog naar het voorwerp. Men komt dit idee ook tegen bij Plato.

*e. kleur.*

De meeste misvattingen over kleur berusten op het feit dat leerlingen geen onderscheid kunnen maken tussen de fysische kleureigenschappen en de fysiologische kleurperceptie. Zo ziet men kleur zuiver als een eigenschap van het voorwerp en niet van het opvallende licht.

*f. beeldvorming.*

Elke leraar natuurkunde weet hoe moeilijk het is de beeldvorming uit te leggen aan leerlingen. De essentie van scherpe beeldvorming is dat *elke* lichtstraal uit een voorwerpspunt, na het optisch systeem doorlopen te hebben, door het beeldpunt gaat. Leerlingen denken daarbij vaak aan een "reizend beeld" waarbij het voorwerp als het ware in z'n geheel op reis gaat naar het beeld. Brengt men dus bij een optisch apparaat een diafragma aan, dan wordt de vorm van het beeld bepaald door dat diafragma. Werkt men met een virtueel beeld, dan is de zaak voor leerlingen nog complexer dan bij een reëel beeld. Bij de vlakke spiegel zoeken velen het beeld in het vlak van de spiegel.

#### **4. Een vragenlijst over misconcepties in de optica**

De in de vorige paragraaf beschreven lijst misconcepties was uitgangspunt voor een vragenlijst. Bij het opstellen van de vragenlijst zijn speciaal vragen en probleemsituaties ontworpen die naar verwachting geschikt zijn voor bovenbouw-leerlingen. Aan de leerlingen zijn items voorgelegd, bestaande uit beweringen. De beantwoording gebeurt volgens een 5-puntsschaal, waarin 1 betekent "zeker goed" en 5 "zeker fout". In de 42 items zijn vijf van de zes categorieën vertegenwoordigd. De categorie kleur is niet in de vragenlijst verwerkt omdat deze categorie moeilijk te toetsen is met een zwart-wit vragenlijst. Voor elke categorie zijn twee items zuiver theoretisch, zodat de leerlingen tien

vragen van theoretische aard moesten beantwoorden. De theoretische vragen zijn kort geformuleerd en hebben direct betrekking op de optica-leerstof. In de overige 32 items met een meer praktisch karakter werden de leerlingen geconfronteerd met probleem-situaties, geïllustreerd met foto's en tekeningen. Naast de antwoorden op de items zijn gegevens van leerlingen verzameld over het schooltype, het leerjaar, het geslacht, leeftijd en het optica-curriculum dat zij gehad hebben.

Om een idee te geven van de vragenlijst, zijn de probleem-situaties 31 en 32 opgenomen (fig. 1). Ze gaan over een foto-graaf, die, via een spiegel, een scherpe foto van zichzelf probeert te maken. Voorafgaand aan deze situatie is een vraag gesteld over waar het spiegelbeeld van een voorwerp ligt bij een vlakke spiegel. De bedoeling van vragen 31 en 32 is onder andere na te gaan in hoeverre leerlingen in staat zijn het antwoord op de theorievraag te vertalen naar een praktische situatie.

De gegevens zijn verwerkt met SPSS. Met dit statistiek programma zijn van de variabelen de frequentieverdelingen, met gemiddelden en standaarddeviaties, verkregen. Verder zijn de correlatiecoëfficiënten tussen de verschillende variabelen bepaald en is ook met factoranalyse nagegaan in hoeverre en op welke manier variabelen samenhangen.

## 5. Resultaten van de vragenlijst

De vragenlijst is in de 2e helft van het schooljaar 1986/1987 ingevuld door 639 leerlingen van 5 verschillende scholen. De leerlingen waren verdeeld over de volgende klassen:

- 3 vwo, 56 leerlingen, voornamelijk 15 jaar;
- 4 havo, 191 leerlingen, voornamelijk 16 jaar;
- 4 vwo, 206 leerlingen, voornamelijk 16 jaar;
- 5 vwo, 191 leerlingen, voornamelijk 17 jaar.

De testgroep bestond uit 433 jongens (68%) en 206 meisjes (32%).

We bekijken eerst in hoeverre de vragen goed beantwoord zijn. We noemen een antwoord:

- goed als de score 1 en 2 is op een goede bewering of 4 en 5 op een foute bewering;
- onbeslist als de score 3 bedraagt;
- fout als de score 4 en 5 is op een goede bewering of 1 en 2 op een foute bewering.

*De fotograaf wilde een foto van zichzelf maken in de spiegel. Hij zat een meter voor de spiegel. Robert zat half achter/half naast de spiegel; naast de spiegel stond een colaflesje.*

31. *Op de foto van figuur 16. is de fotograaf scherp afgebeeld, op de foto van figuur 17. niet. Bij figuur 16. heeft hij dus scherpgesteld op één meter, maar bij figuur 17. niet.*
32. *Robert zat ongeveer evenver achter de spiegel als dat de fotograaf ervoor zat.*

*Figuur 16.*

*De fotograaf maakt een foto van zichzelf in de spiegel. Op welke afstand zou hij scherp gesteld hebben?*



*Figuur 17*

*Tweede poging van de fotograaf om een foto van zichzelf te maken met behulp van een spiegel. Let eens op het colaflesje.*

Tabel 1: Scores op de theoretische (1-10) en praktische (11-42) items in procenten.

%	totaal	theoretische	praktische
goed	64	79	60
onbeslist	10	8	10
fout	26	13	30

Tabel 1 geeft de percentages goede en foute antwoorden. De theoretische items werden significant beter beantwoord dan de praktische situaties ( $p < 0.001$  met t-test). Vervolgens bekijken we de resultaten per categorie.

*a. eigenschappen van licht.*

De conclusie van Guesne (1984) dat leerlingen van 12-15 jaar licht identificeren met de bron of met het effect, blijkt volgens onze enquête niet te gelden voor leerlingen van 15-17 jaar. Men was zich in het algemeen bewust van de aanwezigheid van licht in een ruimte tussen een lamp en de muur (87% goed en slechts 7% fout). Bij navraag gaven leerlingen toelichtingen in de zin van: "als je er iets tussen houdt kun je zien dat het ook verlicht wordt".

*b. voortplanting van licht.*

Een bewering over rechthoekige voortplanting van licht werd door 76% van de leerlingen correct begrepen, terwijl ongeveer hetzelfde percentage een probleemsituatie goed oploste waarin gesuggereerd werd, dat niet-rechthoekige voortplanting van licht er de oorzaak van is dat een klein raam een hele kamer kan verlichten. De koppeling tussen rechthoekige voortplanting van licht en schaduwvorming is leerlingen in probleemsituaties 16 en 17 niet duidelijk (zie figuur 2). Zo denkt 64% dat schaduwvorming op een bewolkte dag niet mogelijk is omdat de wolken te veel licht absorberen. Echter, bij een lichtintensiteit die veel geringer is dan de intensiteit op een bewolkte dag, kunnen schaduwen te zien zijn, als het licht maar uit één richting komt.

*c. interactie van licht met voorwerpen.*

Ongeveer 80% van de leerlingen weet dat lichtstralen zichtbaar gemaakt kunnen worden door bijvoorbeeld waterdruppels of stofdeeltjes. Echter het verschil tussen spiegelende en diffuse

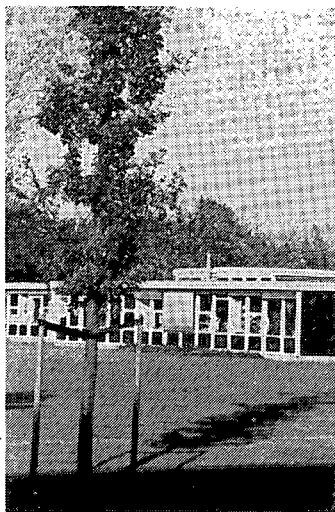


*Op een zonnige dag werpt het gefotografeerde boompje een schaduw op het grasveld. Schaduwvorming heeft te maken met de rechtlijnige voortplanting van licht. Doordat de lichtstralen, die om het boompje heen vallen recht door gaan en achter het boompje niet buigen ontstaat er een donkere plek.*

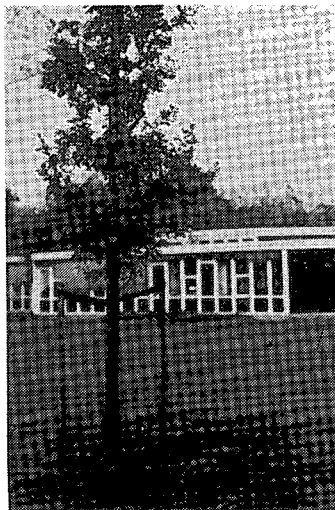
*Zie nu figuur 6.*

*Op een bewolkte dag ontstaat er schaduw van het boompje .*

16. *Op een bewolkte dag ontstaan er geen schaduwen, omdat er te weinig licht is; de wolken hebben te veel geabsorbeerd.*
17. *Op een bewolkte dag ontstaan er geen schaduwen, omdat het licht zich onder de wolken niet meer rechtlijnig voortplant.*



*Figuur 5  
Op een zonnige dag kan men goed de schaduwvorming van een boom waarnemen.*



*Figuur 6  
Op een bewolkte dag is er geen schaduwvorming.  
Hoe komt dat?  
Zie de beweringen 16 en 17.*

reflectie is veel leerlingen in probleemsituaties niet duidelijk. Zo denkt 60% van de leerlingen dat een spiegel slechts licht reflecteert op de plaats waar men het beeld van de lichtbron, die voor de spiegel staat, ziet. Zij zijn zich dus niet bewust van het feit dat de hele spiegel licht reflecteert en slechts een klein gedeelte van de spiegel in de richting van het oog. Weinig leerlingen realiseren zich dat spiegelende reflectie voorwaarde is voor beeldvorming. Dus denkt 46% van de leerlingen dat je jezelf in een wit stuk papier kunt zien als al het opvallende licht teruggekaatst wordt. Weliswaar kennen leerlingen tekeningen waarin het verschil tussen diffuse en spiegelende reflectie aangegeven wordt, maar zij trekken vaak niet de praktische consequenties zoals "voorwerpen zijn zichtbaar omdat zij licht diffuus terugkaatsen".

*d. zien.*

Ruim 80% van de leerlingen heeft een juist begrip van het concept zien. Zij beseffen dat je een voorwerp ziet als er lichtstralen van het voorwerp in je oog komen, terwijl je de lichtbron niet hoeft te zien. Ondanks dit goede begrip doorzien zij toch niet allemaal de consequenties in probleemsituaties. Zo denkt slechts 61% dat er licht komt tot bij een fotograaf, die 's avonds een foto maakt van een gebouw in de verte waarin lampen branden. Slechts 58% van de leerlingen denkt dat lichtstralen van de koplampen van een auto een waarnemer bereiken, die 's nachts op grote afstand de auto ziet naderen. De foute antwoorden op deze probleemsituaties berusten op de eerder vermelde ontkoppeling tussen zien en licht. Daarnaast kan men ook zien dat leerlingen de aanwezigheid van lichtstralen identificeren met het effect van die lichtstralen: "omdat het in het weiland rondom de fotograaf donker is zijn daar geen lichtstralen van het gebouw".

*e. beeldvorming.*

De leerlingen zien in het algemeen in dat het (virtuele) beeld van een voorwerp voor een vlakke spiegel evenver achter de spiegel ligt als het voorwerp ervoor: 85% van de leerlingen beantwoordt een dergelijke vraag correct. In de in figuur 1 weergegeven probleemsituaties 31 en 32 is gevraagd deze kennis toe te passen in de praktijk. Nu geeft slechts 60% goede antwoorden. De foute bewering "als je meer van jezelf in de spiegel wilt zien, dan moet je de spiegel verder van je af houden" wordt door 69% van de leerlingen goed bevonden. In een discuss-

sie over deze bewering blijken veel leerlingen te volharden in hun misvatting, want "zij passen dat elke dag zelf toe".

Met de scores op de items is correlatie-rekening uitgevoerd. De inter-item-correlatiecoëfficiënt blijkt in het algemeen laag te zijn (gemiddelde absolute waarde 0,08). Bekijken we de correlatie tussen de items binnen de categorieën, dan zien we dat binnen de categorie "eigenschappen van licht" slechts drie opeenvolgende beweringen een significante correlatie vertonen. Dit is niet verwonderlijk, omdat deze drie beweringen betrekking hebben op dezelfde probleemsituatie. Binnen de categorie "voortplanting van licht" zien we eveneens een significante correlatie, meestal tussen paren opeenvolgende items die ofwel qua probleemsituatie sterke samenhang vertonen ofwel over dezelfde probleemsituatie gaan. Wij hebben de indruk dat de samenhang lager zou zijn geweest als de vragen verder uit elkaar waren gezet. Alleen in het geval van voortplanting van licht over onbeperkte afstand blijkt tussen verder uit elkaar gelegen items een significante correlatie tussen de scores te bestaan. Binnen de categorie "interactie van licht met voorwerpen" zien we eveneens significante correlaties bij kleine subgroepen van items en zelfs tussen items die niet direct na elkaar komen, zoals de praktische en theoretische probleemstelling over de zichtbaarheid van lichtstralen. Binnen de categorie "zien" vinden we juist géén significante correlaties tussen de praktische en theoretische items, terwijl binnen de categorie "beeldvorming" nauwelijks significante correlaties tussen de items te vinden zijn.

In het algemeen kan gesteld worden dat de hoge waarden van de correlatie-coëfficiënten tussen de scores op items onderling vooral voorkomen bij opeenvolgende items. In de correlatiematrix zijn deze waarden dus vooral te vinden langs de hoofd-diagonaal.

Omdat inter-item-correlatierekening binnen de categorieën geen duidelijk resultaat opleverde, is vervolgens gezocht naar "alternative frameworks", of alternatieve denkramen. Hieronder verstaan we denkpatronen van leerlingen, die we niet verwachten. Deze denkpatronen kunnen we niet door logische redenering voorspellen, bijvoorbeeld naar aanleiding van onze categorieïndeling, maar wellicht wel interpreteren en beschrijven.

Met factoranalyse is nagegaan of de alternatieve denkramen

in de vorm van factoren te herkennen zijn. Een eerste factor betreft enkele items over de onbeperkte voortplanting van licht als er geen barrières zijn, samen met enkele items over de zichtbaarheid van licht in een stofrijke of mistige omgeving. De samenhang tussen de items, afkomstig uit twee categorieën, kan als volgt verklaard worden. Wanneer leerlingen gevraagd wordt over welke afstand licht zich voortplant, kijken zij in eerste instantie naar de lichtintensiteit en niet naar de fundamentele dynamische eigenschappen betreffende de voortplanting van licht. Dit idee is in overeenstemming met het feit dat de afname van de lichtintensiteit in een medium veroorzaakt wordt door absorptie, terwijl men er minder oog voor heeft dat de lichtintensiteit in algemene zin afneemt volgens de kwadratenwet.

Een tweede factor heeft betrekking op enkele items over de aanwezigheid van licht op afstand en over het concept zien. Hoewel leerlingen niet duidelijk zien dat lichtstralen van een zichtbaar voorwerp door het oog gevangen moeten worden om het te kunnen zien, beseffen ze wel dat er licht nodig is. Dit idee, samen met de ontkoppeling van zien en licht, vormt wellicht een tweede alternatief denkraam. Hierin past ook het idee dat licht een statisch verschijnsel is: het is aanwezig in een beperkt gedeelte van de ruimte en daar zijn voorwerpen zichtbaar. De andere factoren verkregen met factor-analyse, zijn niet in termen van mogelijke alternatieve denkramen te beschrijven, zodat we daar verder niet op in zullen gaan.

We hebben ook de verschillen tussen groepen leerlingen onderzocht. Daartoe hebben we per leerling de grootheden "deviation" (DEV) en "certainty" (CER) geïntroduceerd. Deviation geeft de mate van afwijking van "de goede antwoorden" aan. Certainty is een maat voor de zekerheid waarmee de leerling 1 of 5 beslist ten opzichte van 2, 3 of 4.

$$DEV = \sum_{i=1}^{42} (a_i - 1) + \sum_{j=1}^{42} (5 - a_j),$$

waarin:  $a_i$  en  $a_j$  de scores zijn het  $i^e$ - resp.  $j^e$ -item en  $i$  de juiste beweringen doorloopt en  $j$  de onjuiste.

$$CER = \sum_{k=1}^{42} |a_k - 3|,$$

waarin:  $a_k$  de score is op het  $k^e$ -item en  $k$  alle beweringen doorloopt.

Om na te gaan in hoeverre de verschillen tussen de verschillende groepen significant zijn, is de t-toets volgens Student uitgevoerd en de bijbehorende overschrijdingskans berekend. Allereerst bekijken we de verschillen tussen meisjes en jongens (tabel 2).

Tabel 2: Verschillen tussen meisjes en jongens

	meisjes (206)	jongens (433)	t	p
DEV	60.7 ± 13	55.5 ± 15	4.4	< 0.0001
CER	56.1 ± 13	61.7 ± 12	5.5	< 0.0001

Uit de tabel blijkt dat de jongens niet alleen significant beter scoren dan de meisjes, maar dat ze ook zekerder zijn van hun zaak. Verrassend is dat er in de DEV-scores (en ook in de CER-scores) geen significant verschil is tussen leerlingen van verschillende leeftijden. We vonden voor de 16-jarigen een DEV-score van 56,1, voor de 17-jarigen eveneens van 56,1 en voor de 18-jarigen van 55,7. We vonden wel een verschil tussen de DEV-scores van leerlingen uit verschillende klassen (tabel 3). Blijkbaar worden de verschillen tussen de verschillende klassen veroorzaakt door onderwijseffecten en niet door bijvoorbeeld een algemeen hoger abstractieniveau van oudere leerlingen. Alle verschillen tussen de DEV-scores in de tabel, behalve die tussen 3 vwo en 4 havo zijn significant. De verschillen tussen de DEV-scores van leerlingen afkomstig van 5 verschillende scholen

Tabel 3: DEV-scores van klassen

klas	aantal leerlingen	DEV-score
3 vwo	56	61.7 ± 15
4 havo	191	61.8 ± 13
4 vwo	201	57.2 ± 14
5 vwo	191	51.2 ± 14

blijken niet significant te zijn, evenmin als die tussen de CER-scores. Dit is opmerkelijk, omdat de scholen verschillende leerboeken gebruiken.

## 6. Conclusies

Hoewel het aantal misconcepties bij leerlingen van 15-18 jaar aanmerkelijk kleiner is dan bij leerlingen van 12-14 jaar, bleken de volgende ook bij deze bovenbouw-leerlingen nog aanwezig:

- het zien, in het bijzonder de ontkoppeling tussen licht en zien. Ongeveer een derde deel van de leerlingen vindt het niet noodzakelijk dat lichtstralen van het voorwerp in het oog van de waarnemer moeten komen om het voorwerp te kunnen zien.
- de interactie met voorwerpen in het bijzonder diffuse en spiegelende reflectie. Leerlingen blijken weliswaar kennis te hebben van de reflectiewetten, maar weten deze kennis vaak niet toe te passen in praktische situaties.
- beeldvorming. Hoewel de meeste leerlingen weten dat het beeld bij een vlakke spiegel achter de spiegel ligt, wordt deze kennis niet toegepast in probleemsituaties.

Vooraf uit deze laatste voorbeelden blijkt een discrepantie tussen de theoretische kennis van een leerling en het vermogen om deze kennis te gebruiken in praktische situaties. De theoretische items zijn dus beter beantwoord dan de praktische. Deze praktische problemen zijn enerzijds alledaags van aard. Anderzijds zijn ze voor de leerlingen nieuw in relatie met de manier waarop de bijbehorende kennis bijgebracht is. Het totaal aantal misvattingen van een leerling blijkt in geringe mate af te hangen van de school en in sterkere mate van de klas, terwijl de leeftijd van de leerling er niet toe doet. Hieruit kan de conclusie getrokken worden dat het begrip van de optica afhangt van het gevolgde onderwijs.

Onze bevindingen over het aantal misvattingen bij leerlingen in de bovenbouw zijn in tegenspraak met de conclusie van Andersson en K arrqvist uit Zweden (1983), die zeggen dat de meeste misconcepties niet weggenomen worden door het optica-onderwijs. Gemiddeld 65% van de leerlingen beantwoordt de vragen goed en slechts 25% fout. Op grond van deze scores kan niet gezegd worden dat "het proefwerk slecht gemaakt is".

Er zijn met betrekking tot het aantal misconcepties en de zekerheid waarmee de problemen opgelost worden, door ons significante verschillen gevonden tussen jongens en meisjes. Dit

is in tegenspraak met het onderzoek van La Rosa e.a. (1984) die geen significante verschillen vonden tussen jongens en meisjes, terwijl zij toch gebruik maakten van eenzelfde type vragenlijst.

De in het algemeen lage waarde van de inter-item-correlatie-coëfficiënt (gemiddeld 0.08) geeft aan dat met dit onderzoek weinig consistent denkgedrag bij leerlingen aangetoond kan worden bij het oplossen van problemen in de geometrische optica. Zelfs binnen dezelfde categorieën is dit consistent redeneren minder dan we verwachtten. Wel vonden we soms samenhang tussen kleine groepen probleemstellingen binnen één categorie of binnen twee of meer categorieën, die we konden verklaren. In twee gevallen was er ons inziens sprake van alternatieve denkramen.

Hoewel er in het algemeen geen consistent denkgedrag gevonden is kunnen we niet stellen dat leerlingen zuiver willekeurig redenerend te werk gaan. Het denkgedrag bij leerlingen individueel en bij groepen leerlingen lijkt nogal te verschillen. Het is moeilijk daarin denkramen te onderkennen. Om hierover verdergaande uitspraken te kunnen doen is omvangrijker onderzoek met betrekking tot begripsontwikkeling bij leerlingen noodzakelijk. Naar aanleiding van ons onderzoek kunnen wel uitspraken gedaan worden die nuttig zijn voor de ontwikkeling van een optica-curriculum, zowel voor de onderbouw als voor de bovenbouw. Het nut van dit onderzoek is dus niet alleen dat we wat meer zicht gekregen hebben op de begripsontwikkeling bij leerlingen aangaande optica, maar ook dat we conceptcurricula kunnen opstellen. Hier zullen we in een volgend artikel op ingaan.

### Literatuur

- Andersson, B. & C.Kärrqvist (1983) How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties, *Eur.J.Sci.-Educ.*, 5, 387-402.
- Ausubel, D.P. (1968) *Educational Psychology: A cognitive view*, New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Goldberg, F.M. & L.C.McDermott (1986) Students difficulties in understanding image formation by a plane mirror, *Phys.Teach.*, 24, 472-480.
- Goldberg, F.M. & L.C.McDermott (1987) An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror, *Am.J.Phys.*, 55, 108-119.

- Guesne, E. (1984) Die Vorstellung von Kindern über Licht, *Phys.Did.*, 11, 79-98.
- Hoffman, K. & H.Wiesner (1984) Ein Subjectivistischer Zugang zur Optik in der Sekundarstufe I, *NiU-P/C*, 32, 7-11.
- Hoffman, K. & H.Wiesner (1982) Lassen sich Alltagsvorstellungen über Optische Phänomene durch Unterricht wirksam korrigieren? *Phys.Did.*, 9, 299-317.
- Jung, W. (1982) Fallstudien zur Optik, *Phys.Did.*, 9, 199-220.
- Jung, W. (1981) Ergebnisse einer Optik-erhebung, *Phys.Did.*, 9, 19-34.
- Jung, W. (1981) Erhebungen zur Schülervorstellungen in Optik, *Phys.Did.*, 8, 137-155.
- La Rosa, C., M.Mayer, P.Patrizi & M.Vincentini-Missoni (1984) Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation into the properties of light, *Eur.J.Sci.Educ.*, 6, 387-397.
- Solomon, J. (1985) Public understanding of science, *Phys.Ed.* 20, 156-158.
- Stead, F.B. & R.J. Osborne (1980) Exploring Science Students' Concepts of light, *Aust.Sci.Techn.J.*, 26, 84-90.
- Wickihalter, R. (1984) Schülervorstellungen zum Sehen, *NiU-P/C*, 32, 73-78.
- Wubbels, Th. (1986) Elementaire begrippen in de geometrische optica: leerlingenvoorstellingen en schoolboektesten, *TD-β*, 4, 19-37.
- Wubbels, Th. (1987) Denkramen van leerlingen op het gebied van de geometrische optica, *TD-β*, 5, 44-59.