

Universiteit Twente
Instituut ELAN

Begrip in kaart

**Hoe kan het gebruik van begrippenkaarten
het begrip van leerlingen in 3VWO
op het gebied van optica verbeteren?**

door

ir. Roland Meijerink (s9900985)

WEB-VERSIE

Rapport Onderzoek van Onderwijs
Master's thesis Science Education (Physics)
november 2008 - februari 2009

Begeleiders: dr. Jan van der Veen
 drs. Fer Coenders
Adviseur: ir. Egbert Altena (de Grundel)

In de web-versie van deze thesis zijn de zogeheten pre-kaarten in bijlage C, de begrippenkaarten die de leerlingen in tweetallen hebben gemaakt aan het begin van de lessenserie, niet opgenomen om de bestandsgrootte te beperken.

Voor de volledige thesis kunt u contact opnemen met het secretariaat van ELAN, de begeleiders die vermeld staan op de voorzijde, of met de auteur op r.meijerink@alumnus.utwente.nl.

Samenvatting

Deze thesis beschrijft een onderzoek naar het gebruik van begrippenkaarten (Engels: ‘concept maps’), dat bestaat uit een literatuuronderzoek en een kleinschalig experiment. Begrippenkaarten zijn een grafische manier om kennis hiërarchisch en ruimtelijk te ordenen en weer te geven, waarbij beweringen worden gedaan door met woorden en pijlen verbanden tussen twee of meer begrippen te leggen. Ze vormen een hulpmiddel bij het leren, dat in principe binnen elk vak, bij elk onderwerp en op elk niveau kan worden toegepast.

Uit het literatuuronderzoek blijkt een grote variëteit aan doelen waarvoor kaarten kunnen worden ingezet, en manieren waarop dit kan gebeuren. Alle varianten hebben gemeen dat ze gebaseerd zijn op Ausubel’s theorie van betekenisvol leren. Daarin staat het bouwen van een cognitieve structuur centraal, door nieuwe begrippen op te nemen in de bestaande structuur van begrippen die de lerende al heeft. Dit is tevens één van de uitgangspunten van wat tegenwoordig het ‘nieuwe leren’ wordt genoemd.

In het experiment heeft een tweetal vergelijkbare 3VWO klassen een test gemaakt, zowel voor aanvang als na afloop van een lessenserie over optica. Eén van beide klassen heeft tijdens de lessenserie een tweetal activiteiten met begrippenkaarten uitgevoerd: in het begin het zelf maken van een kaart op basis van een samenvatting, aan het eind het aanvullen van een incomplete kaart van een expert. Gebleken is dat de testresultaten van deze groep statistisch significant meer verbeterden, met name op onderwerpen die in de lessenserie aan bod waren gekomen, en dat bovendien het afsluitende proefwerk beter werd gemaakt.

Uit reacties van leerlingen kwam naar voren, dat zij de kaarten vooral waardevol achten als samenvatting van de lesstof. Het beoordelen van kaarten blijkt voor de docent bijzonder lastig te zijn, ook als structuur en/of inhoud voor een deel al zijn aangereikt. Het goed invullen of aanvullen van bewering in de kaart, ging lang niet altijd samen met een juist antwoord op een bijbehorende testvraag, en vice versa. De gemaakte kaarten vormden dus geen goede test van het begrip. In de resultaten lijken over het algemeen geen significante verschillen te zijn tussen jongens en meisjes, of leerlingen die een relatief hoog en laag cijfer hebben voor Natuurkunde.

Omdat het incidentele gebruik van begrippenkaarten niet zonder meer leidt tot een betekenisvol leerproces, en het proefwerk voornamelijk vaardigheden test die in de kaarten niet direct aan bod zijn gekomen, is er nader onderzoek nodig naar een eventueel causaal verband tussen het werken met kaarten en de verbeterde resultaten op testen en proefwerk. Ter afsluiting van het rapport is voor docenten een aantal praktische aanwijzingen opgenomen, voor het gebruik van begrippenkaarten in lessen.

Voorwoord

Nieuwe rondes, nieuwe kansen! Deze thesis vormt de afsluiting van mijn studententijd. Na bijna tien jaar is het tijd de collegebanken achter mij te laten, en de schoolbanken op te zoeken. Of beter gezegd: het al dan niet spreekwoordelijke podium voor die banken, als eerstegraads docent Natuurkunde. En het is tijd mijn vleugels uit te slaan aan de andere kant van de IJssel, om te gaan wonen en werken in de Randstad. Keuzes die in twee zinnen beschreven, maar niet in twee tellen gemaakt zijn. Ouders, broers en vrienden, bedankt voor jullie steun bij alle keuzes die ik de afgelopen jaren heb gemaakt.

Het onderzoek dat in de volgende pagina's wordt beschreven was niet mogelijk geweest zonder de hulp van een aantal mensen. Jan en Fer, jullie kritische kanttekeningen en suggesties heb ik zeer gewaardeerd. Egbert, bedankt voor het belangeloos beschikbaar stellen van de 'kinders'. Rebecca, Jan en Patrick, dankzij jullie heb ik alle cijferdata bij elkaar kunnen schrapen. Olaf, zonder jouw hulp was ik nu nog steeds begrippenkaarten aan het scannen. Pauline, dank voor de administratieve ondersteuning bij mijn afstuderen. En als laatste, maar zeker niet onbelangrijkste, de 65 leerlingen die zonder een enkele klacht al mijn opdrachten en testen hebben uitgevoerd: dankjewel!

Enschede, 19 februari 2009

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Achtergronden onderzoek	1
1.2	Introductie begrippenkaarten	2
1.2.1	Basisbegrippen	2
1.2.2	Vakgebied	3
1.3	Opzet onderzoek	6
1.3.1	Probleemstelling	6
1.3.2	Onderzoeksvragen	6
1.3.3	Verwachtingen	7
1.4	Leeswijzer	7
2	Theorie	9
2.1	Begripsontwikkeling	9
2.1.1	Betekenisvol leren	9
2.1.2	Nieuw onderwijsmodel	11
2.2	Begrippenkaarten	12
2.2.1	Toepassing	12
2.2.2	Procedures	14
2.3	Optica	16
3	Methode	19
3.1	Overzicht	19
3.2	Personen	20
3.3	Tijdpad	20
3.4	Instrumenten	20
3.5	Data	25
3.5.1	Verzameling	25
3.5.2	Verwerking	27
3.5.3	Analyse	28
4	Resultaten en discussie	31
4.1	Algemeen	31
4.2	Gebruik van kaarten	34
4.3	Beoordeling van kaarten	35
4.4	Test van begrip	37
4.5	Verandering van begrip	42
4.6	Attitude van leerlingen	48
4.7	Kanttekeningen	50
4.8	Reactie docent	50

5 Conclusies en aanbevelingen	51
5.1 Conclusies	51
5.2 Aanbevelingen voor onderzoekers	53
5.3 Implicaties voor docenten	53
Literatuur	55
Bijlagen	
A Lesstof	57
B Lesmateriaal	60
B.1 Brief leerlingen	61
B.2 Pre-test	63
B.3 Instructie	66
B.4 Opdracht pre-kaart	69
B.5 Samenvatting 2V	70
B.6 Practica	71
B.7 Stencils	75
B.8 Post-kaart	78
B.9 Proefwerk	80
B.10 Enquête	82
C Begrippenkaarten	83
D Data	85

1. Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de achtergronden van het onderzoek, introduceert begrippenkaarten, zet de opzet van het onderzoek uiteen en eindigt met een leeswijzer voor de rest van de thesis.

1.1 Achtergronden onderzoek

Onderwijsvernieuwingen zijn er in vele soorten en maten. Iedereen kent macroscopische veranderingen als de basisvorming, tweede fase en het studiehuis, die aan het eind van de vorige eeuw in Nederland werden ingevoerd. Stuk voor stuk veranderingen op grote schaal, die scholen, onderwijzend personeel en leerlingen met al dan niet zachte dwang door de overheid van bovenaf werden opgelegd. De commissie Dijsselbloem (2008) was in een parlementair onderzoek naar onderwijsvernieuwingen niet mild in haar oordeel over deze ontwikkelingen. Zij stelt onder meer dat de overheid zich “soms tot in het klaslokaal [heeft] bemoeid met de didactiek”.

Ten aanzien van toekomstige vernieuwingen doet de commissie een groot aantal aanbevelingen. De commissie benadrukt de noodzaak van een breed gedragen en goed onderbouwde analyse van de maatschappelijke problemen die het voortgezet onderwijs geacht wordt op te lossen, en voldoende tijd en financiële middelen voor de invoering van vernieuwingen. Verder stelt zij nadrukkelijk dat scholen moeten gaan over de inrichting van het onderwijs, het pedagogisch-didactisch klimaat, en dat wanneer het gaat om onderwijsinhoudelijke vernieuwingen, deze wetenschappelijk gevalideerd dienen te zijn. “Belangrijke vraag daarbij is welke methode voor welke onderwijsinhoud en voor welke leerlingen geschikt is. Wetenschappelijke kennis moet daarbij worden benut of worden verkregen door kleinschalige vernieuwingen in de scholen. [...] Basisvoorwaarde is dat de vernieuwing onder de docenten gedragen wordt en dat aan de noodzakelijke voorwaarden verbonden aan een nieuwe methode, kan worden voldaan”, aldus Dijsselbloem.

Die volgende vernieuwingen staan overigens al voor de deur. Het ‘nieuwe leren’ is een soort containerbegrip voor diverse vernieuwingen, onder meer voortgekomen uit de theorie van het sociaal-constructivisme (Schoolmanagers-VO, 2006). Daarin wordt het leren beschouwd als een actief en constructief proces, dat plaatsvindt in een sociale en culturele omgeving. Zinnige kennis bestaat volgens constructivisten nooit uit losstaande feiten, maar uit netwerken van feiten of begrippen. Nieuwe kennis dient daarom nauwkeurig aan te sluiten bij de aanwezige kennis, die voor elke leerling verschilt. De al dan niet bestaande wetenschappelijke onderbouwing van (aspecten van) het nieuwe leren is onderwerp van veel discussie (Simons, 2007; de Bruijn, 2008). Alleen daarom al lijkt het in de lijn van de genoemde aanbevelingen van de commissie Dijsselbloem niet meer dan logisch dat deze vernieuwingen in eerste instantie door docenten worden doorgevoerd op kleine schaal, bijvoorbeeld in een les of lessenserie van een enkele klas.

Er bestaan verschillende hulpmiddelen die tot op zekere hoogte bij de constructivistische benadering van het nieuwe leren passen. Sommige van deze hulpmiddelen zijn al decennia geleden ontwikkeld, en daarmee niet echt ‘nieuw’ te noemen. In het licht van de huidige ontwikkelingen mogen ze echter rekenen op hernieuwde interesse. Deze thesis gaat in op het hulpmiddel begrippenkaarten. Daarbij wordt nadrukkelijk niet alleen gekeken naar de wetenschappelijk onderbouwing, maar ook op kleine schaal naar praktische implicaties, beperkingen en verdiensten.

In de volgende paragraaf worden begrippenkaarten geïntroduceerd, waarna de opzet van het onderzoek en dit rapport uit de doeken wordt gedaan.

1.2 Introductie begrippenkaarten

Begrippenkaarten (Engels: ‘concept maps’) vormen een hulpmiddel bij het leren, dat in principe binnen elk vak, bij elk onderwerp en op elk niveau kan worden toegepast. Daarbij zijn zowel het eindresultaat (de kaarten) als het voorafgaande proces (het maken) belangrijk, en kan er individueel of in groepen worden gewerkt. Deze paragraaf introduceert begrippenkaarten, plus de ontwikkeling, status en (mogelijke) toekomst van het vakgebied.

1.2.1 Basisbegrippen

Hieronder volgt een tekstuele beschrijving van begrippenkaarten en de termen die daarbij worden gebruikt, onder meer met een eenvoudig voorbeeld. Deze tekst is gebaseerd op het werk van Novak en Cañas (2006b). Er wordt afgesloten met een begrippenkaart die de tekst samenvat, met behulp van de cursief gedrukte woorden.

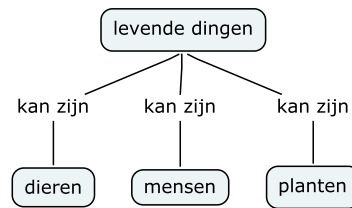
Terminologie De *begrippenkaart* is een grafische manier om *kennis* hiërarchisch en ruimtelijk te ordenen en weer te geven, waarbij beweringen worden gedaan door verbanden tussen twee of meer begrippen te leggen. Het zijn daarmee voorbeelden van zogeheten *cognitieve kaarten*, manieren om kennis van een groep of individu fysiek (op papier of een scherm) weer te geven. Een ander bekend voorbeeld van cognitieve kaarten zijn *denkkaarten* (‘mind maps’), die associaties relatief willekeurig rond één begrip verzamelen en dus wel een *ruimtelijke structuur*, maar (in tegenstelling tot begrippenkaarten) niet echt een *hiërarchie* kennen. Een ander voorbeeld van cognitieve kaarten zijn *stroomschema’s* (‘flowcharts’), die bijvoorbeeld binnen de informatica veel worden gebruikt. Het netwerk van kennis over begrippen en beweringen dat met een cognitieve kaart wordt weergegeven, noemen we ook wel een *cognitieve structuur*. Het doel van *betekenisvol leren* is het bouwen van een cognitieve structuur, door nieuwe begrippen op te nemen in de bestaande structuur van begrippen die de lerende al heeft. Dit is tevens één van de uitgangspunten van het nieuwe leren.

Een begrippenkaart bestaat uit begrippen, weergegeven door een woord in een cirkel of rechthoek, die onderling verbonden zijn door lijnen, met een woord of korte zin daarnaast. Deze lijnen kunnen aan beide kanten al dan niet voorzien zijn van een pijl. Een *begrip* is een gemeenschappelijke eigenschap van gebeurtenissen of objecten, een waargenomen *regelmatigheid*. Het woord dat voor een begrip wordt gebruikt heet een *etiket*. De verbinding tussen twee of meer begrippen noemt men een *verband*, of als de begrippen in verschillende delen of *segmenten/domeinen* van de kaart liggen, een *kruisverband*. Het woord dat naast de verbinding wordt geschreven heet logischerwijs een *verbindingswoord*. Het geheel van twee of meer begrippen en een verband noemt men ook wel een *bewering*.

Voorbeeld De hoogste tijd voor een voorbeeld! Laten we kijken naar een willekeurig groep personen. Daar zitten waarschijnlijk mannen en vrouwen in, lange en korte mensen, wellicht leerlingen en docenten; kortom, ze zijn verschillend. Desalniettemin hebben ze één belangrijke overeenkomst, die we een begrip zouden kunnen noemen: in biologisch opzicht zijn ze een ‘homo sapiens’. Dit begrip geven we weer met het etiket “mens”, met een frame eromheen. Andere voorbeelden van begrippen zijn “dieren” en “planten”: groepen die onderling eveneens heel verschillend kunnen zijn, maar genoeg overeenkomsten vertonen om ze onder één woord (etiket) te kunnen scharen. De drie begrippen zijn nog niet verbonden en vormen dus geen begrippenkaart.

Je zou (terecht) kunnen beweren dat mensen, dieren en planten voorbeelden zijn van levende dingen. Dat maakt “levende dingen” een begrip, dat we bovenaan plaatsen, omdat het de andere drie begrippen omvat. Er is dus sprake van een hiërarchie. Onze bewering geven we weer door een lijn te trekken tussen de begrippen “levende dingen” en “mensen”, en daarbij het (verbindings)woord “kan zijn” te plaatsen. Levende dingen kunnen immers mensen zijn. Hetzelfde doen we voor “dieren” en “planten”, zodat we het resultaat in figuur 1.1 krijgen.

Van boven naar beneden lezen we nu “levende dingen kan zijn dieren/mensen/planten” en hoewel dat grammaticaal niet helemaal juist is, klopt het feitelijke verband wel. Natuurlijk is dit een enigszins triviaal voorbeeld, dat eindeloos kan worden uitgebreid. Zo kunnen regelmatigheden voor elk van de



Figuur 1.1: Eenvoudige begrippenkaart ‘levende dingen’

drie voorbeelden van levende dingen worden uitgewerkt, zodat er drie domeinen of segmenten in de kaart ontstaan, die eigenlijk zelf weer een begrippenkaart vormen. De kracht van begrippenkaarten ligt onder meer in de mogelijkheid om (kruis)verbanden tussen domeinen te leggen, zoals de constatering dat sommige dieren eieren leggen, maar mensen niet. Vaak worden alleen bij deze kruisverbanden pijltjes gebruikt, én bij verbanden die van beneden naar boven moeten worden gelezen.

Merk tenslotte op dat we hierboven als verbindingswoord niet “bijvoorbeeld” hebben gebruikt. Bij voorkeur kiest men verbindingswoorden namelijk zó, dat begrippen en verbanden een bewering, een (al dan niet volledige of grammaticaal juiste) zin vormen.

Aanvullende terminologie Het is nuttig een begrippenkaart op te stellen met een specifieke vraag in het achterhoofd, de *hoofdvraag*. De beweringen die de begrippenkaart geeft kunnen niet los gezien worden van die vraag, de situatie of gebeurtenis die we proberen te begrijpen, van de *context*. Zo levert de hoofdvraag “Leggen alle levende dingen eieren?” een hele andere begrippenkaart op dan de hoofdvraag “Wat is een mens?”. In het meest extreme geval kan een bewering in de ene context juist zijn, terwijl hij in een andere onjuist is.

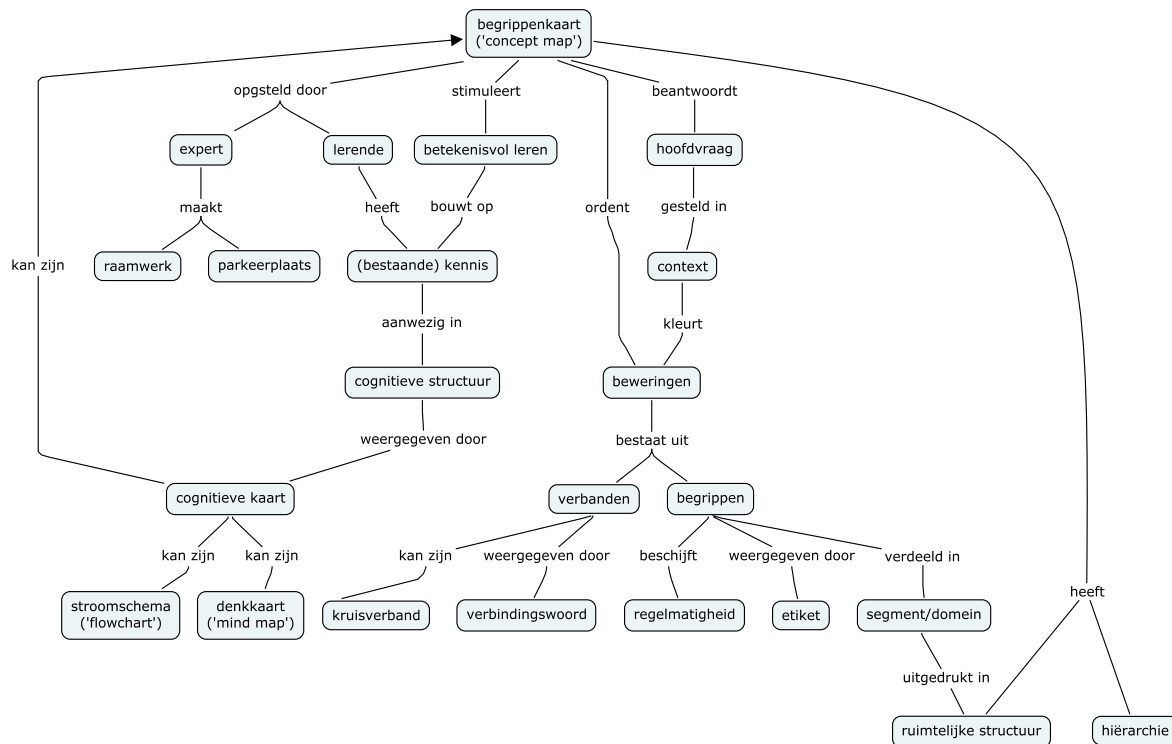
De begrippenkaart wordt gebruikt en doorgaans opgesteld door iemand die iets wil (of moet) leren, de *lerende*. Je kan de kaart ook op laten stellen door een *expert*, zodat de lerende deze kan bestuderen, aanvullen of vergelijken met een zelfgemaakte kaart. De al dan niet complete begrippenkaart van een expert (op het onderwerp van de kaart) noemen we een *raamwerk*. Een eventuele lijst van begrippen die nog aan de begrippenkaart moeten worden toegevoegd is de *parkeerplaats*.

Samenvatting Wat is een mooiere manier om het voorgaande samen te vatten, dan met een begrippenkaart? Figuur 1.2 geeft antwoord op de hoofdvraag “Wat is een begrippenkaart?”.

1.2.2 Vakgebied

Om meer inzicht te krijgen in de (mogelijke) toepassingen van begrippenkaarten, is het goed om een idee te hebben van hun herkomst en de ontwikkeling van het vakgebied, en de beoogde voordelen te beschouwen. Daarna wordt een beeld geschetst van het onderzoek dat momenteel wordt gedaan, en in de (nabije) toekomst gedaan zou kunnen worden.

Herkomst Begrippenkaarten zijn ‘uitgevonden’ in de jaren 70, in een groep op de Amerikaanse Cornell University (Novak & Cañas, 2006a). Novak en zijn collega’s deden onderzoek naar de cognitieve ontwikkeling van kinderen, met name hun vermogen om op jonge leeftijd vertrouwd te raken met fundamentele natuurwetten als die van behoud van energie. Daartoe volgde men gedurende een periode van twaalf jaar een grote groep kinderen vanaf hun zesde levensjaar, waarbij een deel speciaal ontworpen lessen kreeg (Novak & Musonda, 1991). Om vorderingen in de cognitieve structuur in kaart te brengen, werd ieder jaar met een deel van de leerlingen een interview afgenomen en uitgewerkt. De transcripties van deze interviews werden op een gegeven moment zo omvangrijk, dat de onderzoekers op zoek gingen naar andere manieren om hun resultaten te presenteren. Die vonden ze in de begrippenkaarten, waarmee ze naar eigen zeggen een interview van 15 tot 20 pagina’s konden reduceren tot een enkele pagina, zonder essentiële informatie te verliezen. In de jaren daarna maakte men niet alleen gebruik van de begrippenkaarten, maar zag men in dat de kaarten ook zeer waardevol konden zijn



Figuur 1.2: Begrippenkaart 'begrippenkaarten'

tijdens het leerproces zelf. Het bijbehorende onderzoek leidde tot het binnen dit onderwerp klassieke boek *Learning how to learn* van Novak en Gowin (1984), en een onderwerp waar nog immer aan wordt gewerkt door onderzoekers wereldwijd.

Ontwikkeling Vanaf het eind van de jaren 80 leidde een samenwerking van Novak met het (latere) Florida Institute for Human and Machine Cognition (IHMC) tot de ontwikkeling van de computer-software CmapTools (Novak & Cañas, 2006b), waarmee niet alleen begrippenkaarten konden worden gemaakt, maar ook ook nieuwe dimensies aan toepassing en onderzoek werden gegeven. Novak en Cañas (2006a) beschrijven de mogelijkheid om geneste begrippenkaarten (dus kaarten in kaarten) te maken, daar in groepsverband op afstand samen aan te kunnen werken, en de resultaten via internet te kunnen presenteren en navigeren. Een mooi voorbeeld daarvan is de NASA-website over onderzoek dat gelieerd is aan Mars (Briggs et al., 2004, zie ook <http://cmex.ihmc.us>). Op basis van de opvattingen van Ausubel werd een theorie van 'betekenisvol leren' ontwikkeld (Novak, 1998). In deze theorie staat centraal dat moet worden benadrukt en voortgebouwd op wat de lerende al over een onderwerp weet, en begrippenkaarten kunnen daarin als een soort steigermateriaal (Engels: 'scaffolding') een essentiële rol vervullen. Deze theorie wordt uitgediept in hoofdstuk 2.

Voordelen Zoals gezegd sluiten begrippenkaarten aan op de theorie van betekenisvol leren, en de daarbij horende (beoogde) voordelen als makkelijker leren, langer onthouden, en het breder toepassen van kennis. Deze voordelen worden nader toegelicht in paragraaf 2.1.1. Daarnaast hebben begrippenkaarten ten opzichte van een tekst een aantal andere mogelijke voordelen (Breetvelt, 2005):

- In een kaart worden de hoofd- van de bijzaken gescheiden, de overkoepelende structuur wordt duidelijk gemaakt;
- Teksten vereisen een relatief langzame seriële benadering van informatie, terwijl met een kaart 'in een oogopslag' visuele informatie parallel kan worden verwerkt;
- Mensen lijken visuele informatie makkelijker te kunnen onthouden;
- Begrippenkaarten sluiten aan op het visueel-ruimtelijke karakter van leren, wat met name zinvol is voor lerenden die verbaal of tekstueel minder sterk zijn.

Huidig onderzoek Sinds 2004 wordt ongeveer tweejaarlijks een internationale conferentie gehouden, die volledig is gewijd aan onderzoek op het gebied van begrippenkaarten (<http://cmc.ihmc.us>). Op de derde editie van deze International Concept Mapping Conference (CMC) presenteerden Daley et al. (2008) een thematisch overzicht van de ruim 300 tot dan toe gepubliceerde papers.

De zes huidige onderzoeksthema's die Daley et al. onderscheiden zijn:

- *Onderwijzen & leren* — organisatie en planning vooraf voor zowel leerlingen als docenten, het plannen van een compleet curriculum, samenwerking in groepen (al dan niet op afstand), zelfreflectie en -analyse, en de inpassing van begrippenkaarten in diverse onderwijskundige theorieën;
- *Toetsen* — beoordelen van kaarten van zowel individuele personen, als het gebruiken van kaarten om processen en complete onderwijsprogramma's te waarderen;
- *Kennisontwikkeling* — in kaart brengen en (terug)winnen van kennis bij personen, groepen en organisaties;
- *Software-ontwikkeling* — ontwikkeling van diverse computerprogramma's om bijvoorbeeld begrippenkaarten te beoordelen, automatisch te lay-outen, of zelfs helemaal te genereren op basis van een eenvoudige tekst;
- *Loopbaanontwikkeling* — voor docenten, zowel vakinhoudelijk als op het gebied van didactiek;
- *Onderzoeksmethode* — als onderdeel van de methodologie bij het analyseren en presenteren van data, of bijvoorbeeld literatuuronderzoek.

In een ruim 100 pagina's tellend overzichtsrapport voor de Amerikaanse overheid geven Cañas et al. (2003) een ogenschijnlijk compleet overzicht van het vakgebied van begrippenkaarten: zij gaan in op diverse stijlen en constructiemethoden, en mogelijke toepassingen van kaarten in zowel het onderwijs, als bedrijven en overheid, en verschillende software-hulpmiddelen die beschikbaar zijn.

Toekomst Daley et al. voorzien een achttal gebieden, waarop het onderzoek zich zou kunnen c.q. moeten uitbreiden. Deze overlappen uiteraard deels met de eerder genoemde huidige aandachtspunten:

- Bij sommige leerlingen en docenten lijken begrippenkaarten *weerstand* op te roepen. Het is niet duidelijk of dat komt door een soort inherente natuurlijke leer- of doceerstijl, en wat de relatie van kaarten met die stijlen is;
- Over het leren in *groepen* en het bouwen van een gemeenschappelijk cognitieve structuur, al dan niet in combinatie met begrippenkaarten, is nog veel onduidelijk;
- Er zijn weinig *longitudinale onderzoeken*, waarbij leerlingen over een lange periode gevolgd worden, hoewel het concept daarvoor oorspronkelijk is ontwikkeld;
- De effectiviteit van *software* als CmapTools en specifieke onderdelen daarvan roept nog veel vragen op;
- Het is niet duidelijk of (culturele) *diversiteit* in groepen lerenden door begrippenkaarten beter ondervangen kan worden;
- Hoewel er onderzoek is naar begrippenkaarten als middel om te *toetsen*, liggen er op dat gebied nog onbeantwoorde vragen;
- Het gebruik van kaarten als *onderzoeksmiddel* moet meer onderzocht worden, bijvoorbeeld op het gebied van validiteit en betrouwbaarheid;
- Binnen *organisaties* zouden begrippenkaarten een grote toegevoegde waarde kunnen hebben, bijvoorbeeld bij de analyse van relaties en conflicten, de ontwikkeling van kennis, enzovoort.

Cañas en Novak (2008) zien een grote rol weggelegd voor online toepassingen, op basis van de CmapTools software. Zij noemen drie toepassingen (websites), die momenteel worden ontwikkeld:

- *Training* — de mogelijkheid om 'routes' voor bepaalde doelgroepen vast te leggen, die leiden langs bepaalde begrippenkaarten. Iemand die iets over een bepaald onderwerp wil weten, kan vragen en geadviseerd worden welke begrippenkaarten daarvoor bestudeerd en/of gemaakt moeten worden;
- *Samenwerking* — zowel leerlingen als docenten kunnen samenwerken, al dan niet op afstand en al dan niet tegelijkertijd, door bijvoorbeeld te bediscussiëren welke begrippen in een begrippenkaart opgenomen moeten worden;
- *Kennis delen* — begrippenkaarten, die nu al op een centrale server kunnen worden opgeslagen, moeten goed te doorzoeken worden. Vergelijkbaar met een website als YouTube moeten deelne-

mers kaarten kunnen beoordelen, zodat de beste in een ranglijst verzameld kunnen worden (zie <http://www.cmappers.net>).

Deze ontwikkelingen passen in wat zij een ‘nieuw onderwijsmodel’ noemen. Dit zal nader worden toegelicht in paragraaf 2.1.2.

1.3 Opzet onderzoek

Hieronder wordt uit de doeken gedaan hoe het in deze thesis beschreven onderzoek is opgebouwd: de probleemstelling, onderzoeksvragen en verwachtingen. De gebruikte methode voor de daadwerkelijke uitvoering is beschreven in hoofdstuk 3.

1.3.1 Probleemstelling

Als docent is het interessant om zo nu en dan nieuwe elementen aan je lessen toe te voegen (Carelsen & Kramers-Pals, 2000). Dit kan niet alleen bijzonder leerzaam voor leerlingen en motiverend voor jezelf zijn, maar zeker ook vice versa. En zoals in paragraaf 1.1 werd aangehaald, is het bij onderwijsinhoudelijke vernieuwingen belangrijk dat deze een breed draagvlak hebben en in eerste instantie kleinschalig worden opgezet.

Bij een veelzijdig hulpmiddel als begrippenkaarten kan het echter, zelfs na een korte introductie, moeilijk zijn door de bomen het bos te zien. Welke varianten van begrippenkaarten zijn er? In hoeverre verschillen deze? Op welke manieren kun je ze toepassen? Wat kun je er als docent (niet) mee? Kun je het begrip van leerlingen er mee toetsen? En verbetert dat begrip ook significant? Welke manier is voor beginners (zowel leerlingen als docent) het meest geschikt? En waarom? Lenen sommige onderwerpen zich er beter voor dan andere? Bij het beantwoorden van dit soort vragen wil je niet voorbij gaan aan een andere noodzaak bij vernieuwingen: wetenschappelijke validatie.

Het uitgangspunt van dit onderzoek is pragmatisch, maar de onderbouwing zoveel mogelijk wetenschappelijk: als je het concept ‘begrippenkaarten’ in een korte lessenserie wilt uitproberen, waar moet je dan op letten en wat kun je verwachten? Vanwege de beperkte beschikbare tijd voor het onderzoek moeten we ons daarbij beperken tot één of twee klassen en een enkel onderwerp. Zoals in hoofdstuk 3 duidelijk zal worden, is uit praktische overwegingen gekozen voor een tweetal 3VWO-klassen en het onderwerp optica.

1.3.2 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag die voortkomt uit het voorgaande luidt:

Hoe kan het gebruik van begrippenkaarten het begrip van leerlingen in 3VWO op het gebied van optica verbeteren?

De hoofdvraag geeft aanleiding tot het formuleren van een aantal deelvragen. In het vervolg van deze paragraaf zullen de beperkingen ‘optica’ en ‘3VWO’ niet meer expliciet genoemd worden. Bij de afsluitende conclusies is het uiteraard interessant om na te gaan, of er reden is om aan te nemen dat de resultaten voor andere klassen en/of andere onderwerpen zullen verschillen.

Omdat het om een relatief kleinschalig onderzoek gaat, met leerlingen die beginners zijn op het gebied van begrippenkaarten, is het interessant om te beschouwen welke gevolgen dat heeft.

1. Welke problemen ondervinden beginners bij het gebruik van begrippenkaarten? Hoe ondervangen we deze problemen?

De beoordeling van de kaarten speelt ook een belangrijke rol.

2. Welke moeilijkheden komen we tegen bij de beoordeling van begrippenkaarten? Hoe gaan we met deze moeilijkheden om?

Het “begrip” is een brede term, die kan worden uitgesplitst naar diverse deelonderwerpen, of bijvoorbeeld naar kennis en vaardigheden. Het is de vraag wat begrippenkaarten eigenlijk (kunnen) meten.

3. In hoeverre zijn begrippenkaarten een valide test van het begrip?

Het is mogelijk dat sommige aspecten van het begrip duidelijk verbeterd worden, terwijl begrippenkaarten op andere aspecten geen significante invloed hebben.

4. In welk opzicht verschilt de invloed van begrippenkaarten op diverse onderdelen van het begrip?

Een klas is over het algemeen een heterogene groep. Daarom is het nuttig differentiatie aan te brengen, met name op de resultaten bij de voorgaande vraag.

5. Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van geslacht?
6. Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van gemiddeld Natuurkunde-cijfer?

Tenslotte is het interessant aandacht te besteden aan een meer subjectief aspect.

7. Wat is de attitude van leerlingen ten aanzien van begrippenkaarten?

Deze onderzoeksvragen zullen onder meer terugkomen in de bespreking van de resultaten en de eindconclusies.

1.3.3 Verwachtingen

Zonder beschouwing van de theorie achter begrippenkaarten en het begrip van optica, kan alvast een aantal verwachtingen over de resultaten van het onderzoek worden uitgesproken.

Naar verwachting zal het maken van (eenvoudige) kaarten beginners weinig problemen opleveren, maar met name het leggen van betekenisvolle (kruis)verbanden zal wel eens moeilijk kunnen zijn. In eerste instantie bestaan kaarten misschien uit een lange keten van begrippen, of juist een enkel begrip met daaromheen in stervorm een scala aan eigenschappen. Mogelijk zijn leerlingen daar in te steunen door ze een aantal op te nemen begrippen of met de kaart te beantwoorden vragen te geven. Dat zal ook de beoordeling, die door de diversiteit van kaarten waarschijnlijk lastig is, makkelijker maken.

Bij het begrip van optica speelt niet alleen kennis een rol, maar zijn ook vaardigheden belangrijk. Het is te verwachten dat bijvoorbeeld kennis over kleuren met de kaarten kan worden getest en verbeterd, terwijl vaardigheden als constructies niet significant worden beïnvloed, en dat deze aspecten van begrip ook niet met kaarten getest kunnen worden.

Het is goed mogelijk dat de introductie van begrippenkaarten bij leerlingen in het begin een extra cognitieve belasting vormt, die eventuele positieve effecten op resultaten en attitude maskeert. Aan de andere kant kan de nieuwigheid, de afwisseling juist een positieve invloed hebben op de leerresultaten en de attitude. Daarbij worden geen significante verschillen tussen jongens en meisjes verwacht, maar zou het goed kunnen dat ‘goede’ leerlingen meer profijt hebben van de kaarten. Dat zou dan komen doordat de extra cognitieve belasting voor deze leerlingen minder groot is, en de negatieve gevolgen derhalve minder. Sommige leerlingen hebben waarschijnlijk meer oefening nodig in de constructie van kaarten, die ze in het korte tijdsbestek van het onderzoek niet is gegeven.

1.4 Leeswijzer

De opbouw van deze thesis is als volgt: allereerst beschrijft hoofdstuk 2 begrippenkaarten, de achterliggende leertheorie en het onderwerp waar ze in dit onderzoek op worden toegepast (optica). In het daarop volgende hoofdstuk wordt uit de doeken gedaan hoe het onderzoek is opgezet. Zowel de gevolgde procedure, de deelnemers, het gebruikte materiaal en de tijdsplanning, als de verzameling, verwerking en analyse van de data komen aan bod. De resultaten van het onderzoek worden gepresenteerd en bediscussieerd in hoofdstuk 4. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen. Daarnaast zijn een literatuurlijst en bijlagen met een overzicht van de lesstof, lesmaterialen, gemaakte begrippenkaarten en data opgenomen.

2. Theorie

“Nichts ist so praktisch wie eine gute Theorie.” Daarom gaat dit hoofdstuk in op een aantal theoretische aspecten, die relevant zijn voor het opzetten van de onderzoeksmethode (hoofdstuk 3) en het verklaren van de resultaten (hoofdstuk 4).

De eerste paragraaf gaat in op de rol van begrippenkaarten in de begripsontwikkeling. Vervolgens worden in paragraaf 2.2 de kaarten zelf nader belicht; diverse mogelijke toepassingen, varianten, en procedures bij gebruik. Het hoofdstuk wordt afgesloten met een paragraaf over optica (de lesstof), waarin een aantal begrippen en zogeheten misconcepties aan bod komen.

2.1 Begripsontwikkeling

Deze paragraaf bevat als het ware de theoretische onderbouwing voor begrippenkaarten. Allereerst is er aandacht voor Ausubel's theorie van het betekenisvol leren. Daarna wordt deze theorie gebruikt voor wat Novak een 'nieuw onderwijsmodel' noemt.

2.1.1 Betekenisvol leren

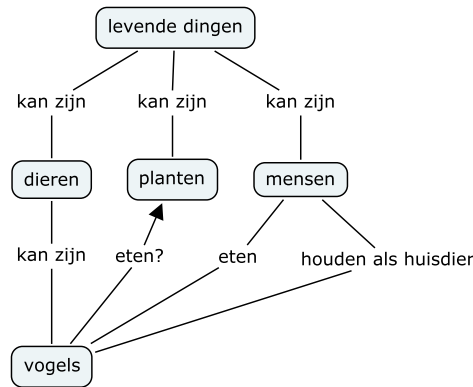
Betekenisvol leren (Engels: 'meaningful learning') is een theorie waarvoor de basis in de jaren 60 is gelegd door Ausubel (1963), en die in de loop der jaren de nodige aanvullingen, nuanceringen en varianten heeft gekend. Er wordt ook wel gesproken over Ausubel's opnametheorie ('assimilation theory'). De tekst in deze paragraaf is gebaseerd op de interpretatie van Novak (1990, H5), de grondlegger van begrippenkaarten.

Basisconcept Betekenisvol leren kan gedefinieerd worden als een door de lerende bewust gekozen proces, waarin nieuwe informatie gerelateerd wordt aan bestaande relevante aspecten van zijn kennisstructuur. Het tegenovergestelde van betekenisvol leren is machinaal leren ('rote learning'), zoals bijvoorbeeld het van buiten leren van vermenigvuldigingstabellen en voorzetselhijtes bij Duits ("aus, bei, mit, nach..."). Een begrippenkaart kan bij betekenisvol leren een nuttig hulpmiddel vormen. Merk op dat de tegenstelling van betekenisvol en machinaal niet hetzelfde is als zelfontdekking versus instructie; je zou zelfs een matrix van leersituaties kunnen opstellen waarin die twee tegenstellingen twee verschillende dimensies vormen.

De theorie van Ausubel lijkt in een aantal opzichten op de ontwikkelingstheorie van Piaget (1926), maar er is één belangrijk verschil: bij Ausubel gaat het om een raamwerk van begrippen in een bepaald kennisdomein, terwijl Piaget het heeft over algemene vaardigheden tot redenering. De tegenstelling tussen betekenisvol en machinaal leren geeft ook aanleiding tot het onderscheiden van leerstijlen, de manier waarop leerlingen leren. Chin en Brown (2000) beschrijven de verschillen tussen diep en oppervlakkig leren ('deep and surface approach'). Diep leren heeft te maken met intrinsieke motivatie, interesse in de inhoud, het 'echt willen begrijpen', betekenisvol leren. Oppervlakkig leren is daarentegen gebaseerd op externe motivatie, interesse in het volbrengen van een taak, 'trucs en feiten', machinaal leren.

Voorbeeld Laten we ter illustratie van de theorie terugrijpen naar het voorbeeld in paragraaf 1.2.1. In figuur 1.1 is een eenvoudige begrippenkaart gemaakt, die laat zien dat we weten dat mensen, dieren en planten voorbeelden zijn van levende dingen. Stel dat we te horen krijgen dat vogels ook voorbeelden zijn van levende dingen. We zouden dit als een losstaand feit kunnen leren, zodat er als het ware een nieuwe begrippenkaart ontstaat, bestaand uit twee begrippen ("levende dingen" en

“vogels”) en één verband (“kan zijn”). Die nieuwe kaart staat dan helemaal los van de bestaande kaart. Weliswaar kunnen we nu desgevraagd meer voorbeelden van levende dingen noemen, maar we hebben geen idee of vogels hetzelfde zijn als mensen, of wat hun relatie met planten is. Daartoe zullen we de twee begrippenkaarten moeten integreren: vogels zijn een voorbeeld van dieren, dus dat begrip wordt daaronder ‘gehangen’, zoals weergegeven in figuur 2.1. Deze integratie zorgt ervoor dat we onszelf vragen gaan stellen (eten vogels ook planten?) en dat er kruisverbanden gelegd kunnen worden (mensen eten vogels, of houden ze als huisdier). Dat is eveneens weergegeven in de begrippenkaart.



Figuur 2.1: Aangevulde begrippenkaart ‘levende dingen’

Aspecten Novak noemt zes belangrijke aspecten van het betekenisvol leren, die hieronder zullen worden toegelicht (ter referentie worden de Engelse termen tussen haakjes genoemd):

1. *Opname* (‘subsumption’) — opname is een interactief proces, waarbij nieuwe informatie wordt gerelateerd aan bestaande informatie, en beide tot op zekere hoogte worden aangepast. Dat betekent bijvoorbeeld dat de nieuwe informatie meer betekenis krijgt, specifiekere wordt, terwijl de bestaande informatie meeromvattend, generieker wordt;
2. *Uitwissende opname* (‘oblitative subsumption’) — het onvermogen om je iets te herinneren noemen we in het geval van machinaal leren ‘vergeten’, en bij betekenisvol leren is dat ‘uitwissende opname’. De opgenomen kennis is in dat geval niet meer specifiek te reproduceren, maar heeft de kennisstructuur onmiskenbaar verbeterd. Dat betekent dat een specifiek feit misschien niet meer te reproduceren is, maar de invloed daarvan op de rest van de kennis niet verloren is gegaan;
3. *Voortschrijdend onderscheid* (‘progressive differentiation’) — gedurende het leerproces worden bestaande begrippen die nieuwe begrippen ‘opnemen’ noodzakelijkerwijs ontwikkeld en uitgebreid. Deze verfijning van begrippen, het preciezer en specifiekere worden van de betekenis, noemt men voortschrijdend onderscheid;
4. *Integrerende verzoening* (‘integrative reconciliation’) — een andere vorm van onderscheid wordt gemaakt als er nieuwe verbanden worden gelegd tussen bestaande begrippen, in begrippenkaarten zichtbaar als kruisverbanden. Er is sprake van integratie, omdat nieuwe verbanden worden geïntegreerd in de bestaande structuur, en er is sprake van verzoening, omdat overeenkomsten en/of verschillen worden geïdentificeerd.

Merk op dat opname, onderscheid en verzoening tegelijkertijd plaats kunnen vinden;

5. *Veelomvattend inzicht* (‘superordinate learning’) — heel soms slaagt een lerende erin begrippen (verschijnselen) aan elkaar te relateren die tot dan toe weinig tot niets met elkaar te maken leken te hebben. Zo verbond Einstein met zijn beroemde formule $E = mc^2$ ogenschijnlijk compleet verschillende begrippen als massa en energie;

6. *Organisatie vooraf* ('advance organizers') — om een brug tussen bestaande kennis en nieuwe informatie te slaan, is het volgens Ausubel belangrijk voorafgaand aan een instructie enige tijd te spenderen aan iets dat algemener en abstracter is dan hetgeen dat geleerd moet worden.

Vereisten Voor een succesvol betekenisvol leerproces zijn er drie vereisten, waarbij organisatie vooraf bijzonder bruikbaar is om aan de eerste twee vereisten te voldoen:

- De lerende moet over relevante voorkennis beschikken en deze moet 'beschikbaar' zijn;
- Nieuwe kennis moet aangeboden worden op een manier, met voorbeelden en taalgebruik die bij de voorkennis past;
- De lerende moet de keuze maken om betekenisvol (en niet machinaal) te leren.

Voor- en nadelen Novak (1998, p.63) benoemt de volgende voor- en nadelen van betekenisvol leren:

- + Informatie wordt over het algemeen langer onthouden, soms zelfs levenslang;
- + Door onderscheid te maken tussen begrippen, wordt het makkelijker om nieuwe dingen te leren;
- + Zelfs als je iets niet meer kunt herinneren, gaat de invloed op andere begrippen niet verloren;
- + Je kunt kennis makkelijker toepassen op nieuwe problemen en contexten;
- Het geleerde kan minder precies gereproduceerd worden, wat onhandig kan zijn bij bijvoorbeeld telefoonnummers;
- Leren kost in eerste instantie meer inspanning en tijd, het gaat langzamer.

2.1.2 Nieuw onderwijsmodel

Mede op basis van de theorie van Ausubel hebben Novak en Cañas (2004) een nieuw onderwijsmodel (Engels: 'new theory of education') opgesteld. Dit model behelst hun ideeën over hoe het onderwijs ingericht zou moeten worden, om te leiden tot betekenis- en (naar verluidt) succesvol leren. Daarbij wordt als concreet voorbeeld een complete lesmethode genoemd, en het model gaat dan ook deels voorbij aan de relatief kleinschalige opzet van dit onderzoek. Desalniettemin wordt het model en de betreffende methode hier besproken: niet alleen voor de volledigheid, maar ook omdat de ideeën en hulpmiddelen eveneens bruikbaar zijn op kleinere schaal.

Basisconcept Het centrale idee van het model is dat een leerproces bestaat uit het begeleid uitbouwen van kennis, waarbij van belang is dat het om een betekenisvol proces gaat, waar de lerende actief bij betrokken is. In het Engels wordt vaak de term 'scaffolding' (letterlijk: het gebruiken van steigers) gebruikt.

Behalve op Ausubel's theorie van het betekenisvol leren, die we in de vorige paragraaf hebben gezien, berust dit model ook op de ideeën van Vygotsky (1978) en zijn 'Zone of Proximal Development' (ZPD), ofwel 'zone van naaste ontwikkeling'. Hij stelde dat een lerende op elk vlak een bepaalde mate van begrip heeft, waarvandaan hij met een beperkte hoeveelheid begeleiding kan groeien naar een hoger niveau. Enkele decennia voor Ausubel, toen Vygotsky zijn ideeën al in het Russisch publiceerde, kwam hij met het idee dat leren moet beginnen met hetgeen je al weet, en dat je op deze kennis moet voortbouwen.

De toegevoegde waarde van begrippenkaarten in dit model, is dat zij niet alleen in kaart brengen wat iemand al weet, maar ook blootleggen in welke richting de lerende zich verder zou kunnen ontwikkelen. Daarbij kun je de lerende voorzien van een kaart die is gemaakt door een expert op het betreffende gebied, het raamwerk (Engels: 'expert skeleton map'). Dit raamwerk kan hem begeleiden naar een hogere ZPD. De begrippenkaart van de lerende kan een 'kennismodel' worden, dat gedurende de schoolcarrière steeds verder verfijnd en uitgebreid wordt. Overigens kunnen lerenden die ongeveer op hetzelfde niveau zitten, in groepen samenwerken, en samen op een hoger niveau komen.

Het gebruik van raamwerken is een fundamenteel aspect van het model. Bij de implementatie spelen de computer in het algemeen, en het World Wide Web (WWW) en de eerder genoemde CmapTools software in het bijzonder een grote rol. Die rol is zo groot, dat deze hulpmiddelen als een integraal onderdeel van Novak's model worden gepresenteerd. Een nadere beschrijving ervan is derhalve op zijn plaats, ook al gaat het daarbij niet echt meer om theorie.

CmapTools en WWW De CmapTools software bestaat uit een programma ('client') dat je lokaal, op je eigen computer kunt gebruiken, en de mogelijkheid op honderden computers wereldwijd ('servers') informatie op te slaan en te vinden. Op deze manier kun je begrippenkaarten delen, maar er ook op verschillende manieren samen aan werken. Zo'n server kan overigens ook op een computer binnen school worden geïnstalleerd, zodat geen internet-toegang vereist is.

Als twee gebruikers tegelijkertijd dezelfde kaart openen, krijgen ze de mogelijkheid hier samen aan te werken. Zo kan men 'aantekeningen' (een soort Post-it's) plaatsen, of deelnemen aan een forumdiscussie over een begrip of verband. Als meerdere gebruikers samenwerken in een zogeheten kennisbri ('knowledge soup') van begrippenkaarten, kan men elkaars kaarten niet zien, maar de opgenomen beweringen wél. Deze kan men vervolgens bediscussiëren, of natuurlijk overnemen in de eigen kaart. Daarnaast kan het programma op basis van de ingevoerde begrippen en verbanden, met behulp van bestaande kaarten en zoekmachines, suggesties doen voor nieuwe begrippen en verbanden. Kaarten die op een server zijn opgeslagen zijn via het WWW te benaderen, of lokaal als HTML-document op te slaan.

Aan de begrippenkaarten kun je niet alleen begrippen en verbanden toevoegen, maar ook internet-links (URL's), beeldmateriaal (foto's en video's), geluiden, complete (tekst)documenten en vooral: links naar andere begrippenkaarten. Op die manier kan een veelomvattend persoonlijk kennismodel worden geconstrueerd, met bijbehorende ZPD's. Overigens is niet alleen het uiteindelijke product, maar ook het leerproces belangrijk. De veranderingen die een lerende aanbrengt worden daarom stap voor stap opgeslagen, zodat bijvoorbeeld de begeleider van dat leerproces (de docent) deze later als een soort film kan bekijken.

World of Science De genoemde lesmethode, die momenteel (opnieuw) wordt ontwikkeld, heet 'World of Science'. Boeken die daarvoor in de jaren 60 zijn geschreven, worden nu gebruikt als "demonstratieproject voor het nieuwe onderwijsmodel" (Novak & Cañas, 2004). Er worden raamwerken en een navigatiestructuur op basis van begrippenkaarten ontwikkeld, die niet alleen toegang geeft tot andere begrippenkaarten, maar ook tot practica, opdrachten, foto's en video's, presentaties en (gescande) boeken. Een aantal jaar geleden is daarmee een pilot-project gestart in Italië.

2.2 Begrippenkaarten

In paragraaf 1.2 zijn begrippenkaarten en hun ontwikkeling geïntroduceerd. De termen uit die paragraaf worden hier bekend verondersteld. Op deze plek is er allereerst aandacht voor verschillende varianten en toepassingen van begrippenkaarten, vervolgens wordt ingegaan op procedures bij het gebruik ervan.

2.2.1 Toepassing

Begrippenkaarten vormen een veelzijdig hulpmiddel, dat in verschillende vormen en met diverse doelstellingen toegepast kan worden. Deze paragraaf gaat achtereenvolgens in op mogelijke varianten en toepassingen in het onderwijs.

Varianten Begrippenkaarten zijn er in heel veel soorten en maten. Een aantal van de verschillen komen voort uit het specifieke doel dat met (het maken van) de kaart wordt beoogd. Cañas et al. (2003, §2.1) noemen vier eigenschappen die begrippenkaarten in ieder geval zouden moeten hebben:

- De onderliggende theorie is Ausubel's theorie van betekenisvol leren, zoals gepresenteerd in paragraaf 2.1.1;
- Begrippen zijn semi-hiërarchisch georganiseerd, in de zin dat het meest algemene begrip bovenaan staat, maar dat niet alle relaties perse hiërarchisch hoeven te zijn;
- Verbanden zijn voorzien van een verbindingswoord;
- Begrippen (de 'knooppunten') zijn gedefinieerd als een gemeenschappelijke eigenschap, een regelmatigheid.

Cañas et al. (2003, App.A) laten zien dat begrippenkaarten zich daarmee onderscheiden van zogeheten kenniskaarten, semantische netwerken, causale kaarten en denkaarten ('mind maps'). Ahlberg (2004) geeft een overzicht van een aantal variaties op begrippenkaarten, en hun belangrijkste onderlinge verschillen. In een aantal gevallen wordt daarbij echter niet aan de vier bovengenoemde eigenschappen voldaan. Zo hoeven kaarten volgens hem niet altijd hiërarchisch te zijn, en kunnen ze gebaseerd zijn op andere leertheorieën. Er wordt ook aangegeven dat zelfs in 'peer-reviewed journals' het taalgebruik vaak slordig is, en bijvoorbeeld denkaarten ten onrechte worden aangemerkt als begrippenkaart. Er lijkt derhalve tussen onderzoekers geen consensus te bestaan over de exacte definities, hoewel bovengenoemde eigenschappen een redelijke begrenzing lijken te vormen.

Binnen die grenzen kunnen kaarten sowieso verschillen, onder meer in vorm en het proces van totstandkoming:

- Bij verschillen in *vorm* gaat het bijvoorbeeld om het gebruik van pijltjes, de toegestane lengte van verbindingswoorden, de vorm van (etiketten voor) begrippen, zoals beeld en geluid, en de structuur. Zo betogen Safayeni, Derbentseva en Cañas (2005) op basis van een theoretische beschouwing dat in sommige gevallen een cyclische vorm nodig is, bijvoorbeeld bij het beschrijven van de werking van een thermostaat;
- De *totstandkoming* kent ook veel mogelijke variaties:
 - Allereerst kan de begrippenkaart alleen worden gemaakt, of in kleine dan wel grote groepen. De leden van die groepen kunnen dat al dan niet tegelijkertijd doen en zij kunnen zich eventueel niet op dezelfde plek bevinden, bijvoorbeeld als er gebruik wordt gemaakt van de CmapTools software;
 - Daarnaast is de mate van zelfstandigheid aan te passen. Lerenden kunnen gevraagd worden de hele kaart zelf te construeren, of de te gebruiken begrippen kunnen alvast gegeven worden. Daarnaast is een combinatie mogelijk, waarin de belangrijkste begrippen en/of verbindingswoorden al zijn gegeven, (een deel van) de structuur, of een deel van de map (Ruiz-Primo, Schultz, Li & Shavelson, 2001).

Onderwijs Hoewel begrippenkaarten hun toepassing (kunnen) vinden binnen bedrijven en overheden, zoals Cañas et al. (2003) laten zien, is onderwijs vooralsnog de primaire toepassing. Breetvelt (2005) geeft een uitgebreid overzicht van mogelijke toepassingen:

- *Representatie* van kennis, ten behoeve van leren en instructie;
 - Organisatie vooraf, uitstippelen van en betekenis geven aan leeractiviteiten;
 - Expliciteren van voorkennis (voor de les);
 - Maken van aantekeningen (tijdens de les);
 - Samenvatten van leerstof (na de les);
 - Opzetten, schrijven van artikel of presentatie;
 - Begrip, misvattingen en veranderingen in de begripsvorming in kaart brengen.
- Vormen van een *nieuwe gedachte* (bijvoorbeeld hypothesevorming in onderzoek);
- Construeren of analyseren van een (bijvoorbeeld juridisch) *betoog*;
- *Toetsen*, bepalen mate van opname, integratie en differentiatie;
- *Navigeren*, binnen een kennisdomein of verzameling leermiddelen;
- Representatie *gezamenlijk begrip* van een complex probleem, voor communicatie of discussie;
- Ontwikkeling van een cursus (curriculum) of educatieve *software*.

Praktijkvoorbeelden in de literatuur zijn talrijk, bijvoorbeeld om het begrip of veranderingen in de begripsvorming in kaart te brengen (Odom & Kelly, 2001; Edwards & Fraser, 1983).

2.2.2 Procedures

De manieren om met begrippenkaarten om te gaan, zijn net zo divers als de varianten en (onderwijs)toepassingen. In deze paragraaf is er achtereenvolgens aandacht voor de constructie van kaarten, instructie voor beginners en de beoordeling van kaarten.

Constructie Procedures voor de constructie van begrippenkaarten, zoals bijvoorbeeld beschreven door Novak en Gowin (1984, H2), Novak (1990, App.II) en Cañas et al. (2003, §2.3), zijn in grote lijnen vaak hetzelfde: het onderwerp bepalen, de belangrijkste begrippen identificeren en ordenen, verbanden tekenen en beschrijven, kruisverbanden leggen, de kaart nakijken, en waar nodig aanpassen. Novak en Gowin beschrijven voor diverse leeftijdscategorieën gedetailleerde procedures, die specifiek voor gebruik in de klas zijn bedoeld. Het stappenplan hieronder is een combinatie van de hierboven genoemde bronnen:

1. Kies een informatief stuk tekst en laat deze door de leerlingen lezen. Vraag ze de belangrijkste en meest generieke begrippen te noteren. Een begrip bestaat uit maximaal twee of drie woorden.
2. Noteer de begrippen op het bord en bediscussieer wat het allerbelangrijkste begrip is. Eventueel kan er een hoofdvraag geformuleerd worden, waar de begrippenkaart antwoord op moet geven. Begrippenkaarten die meer dan één onderwerp beslaan zijn lastig uit te werken en te begrijpen;
3. Maak een geordende lijst met het allerbelangrijkste begrip bovenaan, waarin de begrippen naar beneden steeds minder belangrijk en/of specifieker worden. Het is niet erg als er geen 100% consensus is, omdat dat terecht suggereert dat er meer manieren zijn om een tekst te interpreteren;

Vanaf dit punt kun je klassikaal verder gaan, of leerlingen in kleine groepjes laten werken. In het laatste geval luidt de instructie voor de leerlingen:

4. Schrijf de begrippen op losse blaadjes en orden deze blaadjes hiërarchisch, met de eerder gemaakte lijst als leidraad. Meestal staan er maar één of twee begrippen bovenaan, en horen bij een begrip hooguit vier andere begrippen. Als ergens acht begrippen op hetzelfde niveau staan, kun je waarschijnlijk nog een soort tussenniveau creëren;
5. Verbind de begrippen met lijnen en schrijf er een verbindingswoord bij. Kies dit woord zo dat het in combinatie met de begrippen als een bewering leest: “levende dingen – kan zijn – planten” en niet “levende dingen – zoals – planten”. Van boven naar beneden hoeft er geen volzin te staan, maar moet er wel logica zijn;
6. Inspecteer de kaart en pas waar nodig begrippen of verbanden aan. Deze stap kun je een aantal keren doen, of eigenlijk oneindig vaak, vanwege het voortschrijdende inzicht;
7. Zoek naar kruisverbanden tussen begrippen in verschillende onderdelen van de kaart en geef ze een naam. Dit kunnen nieuwe, creatieve verbanden zijn;
8. Hier en daar kun je een specifiek voorbeeld aan een begrip hangen, zoals “huismus” bij “vogels”.
9. Realiseer je dat er niet één enkele manier is om een begrippenkaart te maken: zolang je inzicht verandert, zullen je begrippenkaarten dat ook doen.

Met name bij het ordenen van de begrippen en het aanpassen van de kaart kunnen bijvoorbeeld Post-it's of een programma als CmapTools bijzonder handig zijn. De eerste twee stappen zijn belangrijk bij de eerste (versie van een) begrippenkaart, om leerlingen op weg te helpen. Zoals eerder aangegeven zijn er diverse variaties op deze procedures, zoals bijvoorbeeld beschreven door Ruiz-Primo et al. (2001). Het alvast geven van de belangrijkste begrippen of een deel van de kaart kan zeker voor beginners erg waardevol zijn.

Instructie Voordat iemand een begrippenkaart kan maken, zal hij vertrouwd gemaakt moeten worden met deze activiteit. Novak en Gowin (1984, H2) schrijven een procedure voor, die bestaat uit twee fases. Daarbij streven ze (logischerwijs) na dat het leerproces betekenisvol is. Dat zorgt ervoor dat pas in de tweede fase wordt begonnen met een stappenplan hoe je tot een begrippenkaart komt, zoals in de vorige paragraaf aan bod is gekomen, en dat in de eerste fase het idee van een begrip (Engels: ‘concept’) uitgebreid wordt uitgelegd.

In deze eerste fase zijn drie aspecten belangrijk:

- Duidelijk maken dat een begrip een mentale voorstelling is van een object of gebeurtenis die we ‘in het echt’ tegenkomen;
- Leren hoe je specifieke begrippen (woorden) uit een stuk tekst of les kunt abstraheren, alsmede de relatie daartussen. Het is cruciaal om de overeenkomsten en verschillen tussen begrippen en verbindingswoorden te benadrukken;
- Vertellen dat begrippenkaarten begrippen en hun hiërarchische relatie visualiseren. Het menselijk brein is relatief goed in het herkennen en onthouden van dergelijke patronen.

Novak en Gowin geven geen tijdsindicatie, maar Edwards en Fraser (1983) geven aan in een onderzoek voor beide fases samen een half uur te gebruiken, bij individuele instructie. Voor een klassikale instructie lijkt een lesuur derhalve een aardige inschatting. Overigens implementeren Edwards en Fraser de eerste fase met een begrippenkaart over een kennisgebied dat de leerlingen (heel) goed beheersen, en een vergelijking van de kaart met de tekst waaruit deze is ontwikkeld.

Beoordeling Het beoordelen van begrippenkaarten is een complexe bezigheid. White en Gunstone (1992) stellen zelfs ter discussie of je kaarten überhaupt zou moeten beoordelen, ook in het geval dat deze als toetsmiddel worden gebruikt. Zij zijn van mening dat het becijferen van kaarten mogelijk de houding van leerlingen negatief beïnvloedt, en de waarde van begrippenkaarten als leermiddel drastisch vermindert. Aan deze discussie gaan wij hier verder voorbij.

Novak en Gowin (1984, H5) gaan uitgebreid in op het beoordelen van de begrippenkaart, iets wat op het eerste gezicht misschien een subjectieve zaak lijkt. Zij benadrukken echter dat iedere vorm van toetsing niet volledig objectief is: zelfs van multiple-choice vragen is de keuze en formulering van vragen en antwoorden op zijn minst gedeeltelijk subjectief. Bovendien zijn er wel degelijk meetbare aspecten te identificeren, die de ene begrippenkaart beter maken dan de andere. Deze grijpen terug op Ausubel's theorie van betekenisvol leren uit paragraaf 2.1.1. De vier belangrijkste aspecten bij het beoordelen van een kaart zijn volgens Novak en Gowin:

- *Beweringen* — talrijke verbanden tussen begrippen duiden op voortschrijdend onderscheid, het preciezer en specifiekere worden van de betekenis. Voor iedere juist verband zou je punten kunnen toekennen. De getekende verbanden moeten natuurlijk wel juist zijn. Voor onjuiste verbanden zou je punten kunnen aftrekken;
- *Hiërarchie* — een goede kaart begint met brede, veelomvattende begrippen bovenaan, en wordt steeds specifiekere. In termen van Ausubel's theorie is er dan sprake van opname. Je kunt beoordelen of een leerling hoofd- van bijzaken heeft weten te scheiden, door elk juist (en zinvol) niveau in de kaart te belonen met een bepaald aantal punten. Bij een niet-symmetrische kaart zou je met name op de niveau's in de ‘hoofdtak’ kunnen letten;
- *Kruisverbanden* — de aanwezigheid van kruisverbanden wijst op het integreren van nieuwe verbanden en identificeren van overeenkomsten en/of verschillen tussen begrippen, wat Ausubel integrerende verzoening noemt. Het is daar geen garantie voor, want mogelijk zijn de kruisverbanden niet bijzonder zinvol. Daarom zou je bij kruisverbanden de meest zinvolle en met name creatieve verbanden extra kunnen belonen;
- *Voorbeelden* — voor het (desgevraagd) toevoegen van voorbeelden (die meestal niet omkaderd worden, omdat het geen begrippen zijn) kunnen eveneens punten worden toegekend.

De score kan uiteindelijk een absoluut getal zijn, of een percentage ten opzichte van een scoremodel. Op de basistechniek van Novak en Gowin bestaan veel varianten. Zo geven White en Gunstone de voor de hand liggende uitbreiding om de aanwezigheid van specifieke begrippen te belonen, of hun afwezigheid te bestraffen. Extra aandacht kan er zijn voor het allerbelangrijkste begrip, c.q. de hoofdvraag.

De beoordeling kan nog verder gekwantificeerd worden, op basis van wiskunde zoals grafentheorieën (Souza, Boeres, Cury, Menezes & Carlesso, 2008). Daarnaast kan het proces geautomatiseerd worden, zoals in de huidige versie van CmapTools. Door een analyse van begrippen en verbindingswoorden, mede op basis van een synoniemenlijst, kan daarin de overeenkomst tussen twee kaarten worden uitgedrukt in een getal. Dat kunnen de kaarten van een lerende en een expert zijn, maar ook van twee lerenden onderling.

Andere auteurs kiezen juist een benadering die minder kwantitatief is, zoals Kinchin en Hay (2000). Zij stellen een indeling van begrippenkaarten voor op basis van hun structuur, in plaats van een gedetailleerde analyse van beweringen. De drie structuren die zij onderscheiden zijn:

- *Keten* — de begrippen zijn sequentieel geordend, als een serie lessen;
- *Spaak* — alle begrippen zijn verbonden met één centraal concept, als de spaken in een wiel;
- *Net* — een combinatie van spaak en keten, duidt op betekenisvol leren.

Overigens wordt de kaart daarmee wel geclassificeerd, maar resulteert dat niet meteen in een cijfer.

Getuige het overzicht van Cañas et al. (2003, §3.2.3), geldt voor alle beoordelingstechnieken dat de betrouwbaarheid en validiteit nog steeds onderwerp is van onderzoek. In alle gevallen is voorzichtigheid dus geboden.

2.3 Optica

Deze paragraaf gaat in op de lesstof die wordt behandeld tijdens de lessenserie waarin dit onderzoek is uitgevoerd, en de misconcepties (onjuiste ideeën) die leerlingen vaak blijken te hebben.

Een overzicht van de lesstof is weergegeven in bijlage A, waarin onderscheid wordt gemaakt tussen onderwerpen die al aan bod zijn gekomen in de tweede klas, en onderwerpen die voor het eerst worden behandeld in de derde.

Bij het in kaart brengen van (verbeteringen in) het begrip is het daarnaast nuttig om te weten waar je op moet letten. Een belangrijk inhoudelijk aspect daarbij zijn de zogeheten misconcepties: ideeën van een leerling die niet overeenkomen met de algemeen wetenschappelijk aanvaarde ideeën. Men spreekt ook wel van preconcepties of een alternatief kader. Misconcepties kunnen diep geworteld zijn bij leerlingen, op basis van eigen ervaring of eerdere instructie, en derhalve vaak moeilijk te veranderen. Ook blijkt dat leerlingen goede resultaten op bepaalde testen kunnen halen, terwijl de achterliggende gedachtegang ronduit verkeerd is. Mede daarom is er veel literatuur te vinden over misconcepties, ook op het gebied van optica (Arons, 1997). Veel onderzoeken beperken zich tot één bepaald onderwerp, zoals bijvoorbeeld het karakter van licht (Watts, 1985), en beeldvorming met spiegels (Goldberg & McDermott, 1986) of lenzen (Goldberg & McDermott, 1987). Galili en Hazan (2000) geven op basis van een twintigtal studies een uitgebreid overzicht, waarin misconcepties gegroepeerd zijn. Er wordt tevens een aantal modellen geformuleerd: groepen misconcepties die samen een congruent, maar verkeerd beeld vormen, een soort alternatieve theorie. De redenering van Galili en Hazan is dat de verandering van een enkele misconceptie kan duiden op een simpele verandering van oppervlakkige kennis, maar een verandering van gerelateerde concepties op een werkelijke verandering van begrip wijst.

De indeling van deze paragraaf (en de bijlage) is gebaseerd op de in ontwikkeling zijnde *Kennisbank Natuurkunde* (2008) van het Ruud de Moor Centrum. Dit onderdeel van de Open Universiteit Nederland probeert docenten door middel van producten en diensten te helpen bij hun “professionele ontwikkeling”. Een voorbeeld hiervan zijn de kennisbanken, waarin veel voorkomende begripsmoeilijkheden bij leerlingen en misverstanden over abstracte begrippen zijn verzameld. Men beoogt daarmee met name startende docenten te voorzien van informatie en tips, teneinde hun vakdidactische kennis en vaardigheden te verbeteren. Momenteel is er onder andere op het gebied van optica een testpublicatie beschikbaar, waarop studenten van de lerarenopleidingen en beginnende docenten commentaar kunnen leveren. Voor deze bron is onder meer gekozen omdat het overzicht uitgebreid en per onderwerp gegroepeerd is, mede op basis van ervaringen van docenten tot stand is gekomen, en bovendien toegespitst is op leerlingen van Nederlandse middelbare scholen.

De onderwerpen die aan bod komen zijn achtereenvolgens het karakter van licht, reflectie, breking en zien. Onderwerpen zijn opgesplitst in een aantal deelonderwerpen, waarbij diverse misconcepties worden opgesomd, afkomstig van de kennisbank. Bij een aantal (deel)onderwerpen wordt een beschrijving gegeven van een overkoepelend ‘misconceptie-model’, zoals geformuleerd door Galili en Hazan. Overigens vallen niet alle misconcepties binnen de lesstof die (expliciet) aan bod komt in de onderbouw.

A. Karakter van licht

- *Voortplanting*

‘corporeal light’: licht is een tastbaar iets, dat geobserveerd kan worden

- Licht vult de ruimte, als ware het een gas.
- Licht is er momentaan, op hetzelfde moment. Licht heeft een oneindige snelheid.
- Een lichtstraal geeft licht. Je kunt een lichtstraal zien, zonder dat hij op het oog valt.
- Een lichtstraal blijft niet behouden. Hij verdwijnt of wordt gedempt.

‘shadow image’: schaduw is een soort beeld, gescheiden van het object

‘shadow associative’: eigenschappen schaduw hangen (alleen) af van de omgeving

- Een schaduw bestaat op zichzelf en is geen gevolg van de onmogelijkheid van licht om achter het voorwerp te komen. Licht drukt de schaduw op de muur of op de grond. Deze is een soort donkere reflectie van het voorwerp.

- *Lichtbron*

‘flashlight’: uit elk punt op een lichtbron komt één lichtstraal

- Licht van een lamp verspreidt zich en stopt dan op een bepaalde afstand.
- De maan is een lichtbron, alleen wat minder fel dan de zon.

- *Buiging*

- Licht kan in een bocht gaan.

B. Reflectie

- *Beeldvorming spiegel*

- Bij een vlakke spiegel ligt het beeld in het vlak van de spiegel.

C. Breking

- *Dispersie*

- Wit is een kleur.
- Een regenboog bestaat uit zeven aparte kleuren.
- De kleuren van het licht uit een prisma zijn ook weer samen te voegen tot wit licht door een tweede prisma.

- *Lenzen*

- Een dikkere lens is ook een lens met grotere sterkte.

- *Beeldvorming lenzen*

‘image holistic’: beeld is tastbaar replica van voorwerp, dat als geheel naar beeldpunt reist

‘image projection’: punt op voorwerp wordt door één lichtstraal overgebracht naar beeldpunt

- Een voorwerp “reist” als geheel van voorwerpsplaats tot de beeldplaats, zelfs door de lens. Het voorwerp verkleint, vergroot en keert eventueel om tijdens zijn reis naar de beeldplaats (model van een “reizend beeld”).
- Een virtueel beeld kun je niet zien en een reëel beeld wel.
- De afstand tussen de lens en het scherm heeft geen effect op de scherpte van het beeld. Het scherm is overal neer te zetten voor een scherp beeld.
- Het voorwerp moet kleiner zijn dan de lens.
- De vorm van het diafragma bepaalt de vorm van het beeld. En door de lens gedeeltelijk te bedekken verdwijnt ook een deel van de afbeelding.
- Al het licht van een voorwerp wordt in het brandpunt gefocusseerd.

D. Zien

- *Zien algemeen*
‘spontaneous vision’: zien gebeurt vanzelf, door de aanwezigheid van het oog
 - Een voorwerp heeft geen licht nodig om gezien te kunnen worden. Zien of kijken heeft niets met licht te maken. Het oog “kijkt”. Licht is wel handig want dan zie je meer.
- *Accommoderen*
 - Het oog verandert niet als je van veraf naar dichtbij kijkt. Je ziet altijd scherp, veraf of dichtbij en er is dus geen oogaanpassing nodig.
- *Diafragma*
 - Door het diafragma kleiner te maken wordt ook het beeld kleiner.
- *Kleur*
‘colour-pigment’: kleur is iets anders dan licht
 - Kleur is een eigenschap van een voorwerp en onafhankelijk van de kleur van het opvallende licht en de perceptie van de waarnemer.
 - Het mengen van kleuren met lichtbronnen gaat op dezelfde manier als met verf.
 - Als een voorwerp belicht wordt met een gekleurde lichtbron, heeft de schaduw dezelfde kleur als de bron.

3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze van uitvoering van het onderzoek. Na een kort overzicht worden achtereenvolgens besproken de deelnemers, het tijdpad, de gebruikte instrumenten, en tenslotte de verzameling, verwerking en analyse van data. Het lesmateriaal is opgenomen in bijlage B en wordt toegelicht in paragraaf 3.4.

3.1 Overzicht

De onderzoeksvragen in paragraaf 1.3.2 hebben logischerwijs de opzet van het onderzoek gedicteerd:

- Ten eerste vroegen we ons af hoe het begrip van leerlingen zich ontwikkelt. Dat betekende dat er zowel aan het begin als het eind van de lessenserie een toetsmoment was, een zogeheten *pre en post-test*. Deze testen bestonden uit een (conventionele) toets met meerkeuzevragen;
- Verder waren we benieuwd wat de invloed van begrippenkaarten op deze ontwikkeling is. Daarom werd er gewerkt met twee groepen, een zogeheten *experimentele en controle groep*. Daarbij werkte eerstgenoemde tijdens de lessenserie wél met begrippenkaarten, en de andere niet. Binnen de resultaten van deze groepen kon later nog differentiatie worden aangebracht naar bijvoorbeeld geslacht en gemiddeld cijfer;
- Omdat dit voor leerlingen de eerste kennismaking met begrippenkaarten was, werd aan het begin van de lessenserie voor de experimentele groep een *instructie* gegeven, na de pre-test;
- Na pre-test en instructie hebben de leerlingen in de experimentele groep een *pre-kaart* gemaakt: een begrippenkaart aan de hand van een samenvatting van de lesstof van vorig jaar. Deze opdracht sloot aan bij de onderzoeksvraag welke problemen beginners ondervinden bij het gebruik van begrippenkaarten, en hoe deze ondervangen kunnen worden;
- Vervolgens hebben beide klassen de *reguliere lessen* gevolgd, een klein beetje gecompriemd ten opzichte van andere jaren en afgesloten met een ‘normaal’ *proefwerk*;
- In de experimentele groep is in één van de laatste lessen van de serie een *post-kaart* gemaakt: het invullen van onderdelen in een begrippenkaart van een expert, een zogeheten raamwerk;
- Na de post-test is bij beide groepen een *enquête* afgenomen, om te weten te komen wat te attitude van leerlingen was ten aanzien van het vak en de lesstof, het eventuele gebruik van begrippenkaarten, et cetera.

Deze opzet is schematisch weergegeven in tabel 3.1. Geslacht is weergegeven met m/v, het ‘niveau’ van leerlingen voor het gemak met $< x$ en $> x$.

Tabel 3.1: Overzicht onderzoek

	m	v	m	v
pre	test instructie kaart		test	
	reguliere lessen		reguliere lessen	
post	kaart test enquête		test enquête	
	proefwerk		proefwerk	
	$< x$	$> x$	$< x$	$> x$
	experimentele groep		controle groep	

3.2 Personen

Omdat het onderzoek werd uitgevoerd vlak na het afronden van een schoolstage op Lyceum De Grundel (Hengelo), lag het voor de hand één van de klassen die daar les was gegeven te betrekken bij het onderzoek. Om significante resultaten te kunnen verkrijgen, ook als men bijvoorbeeld in tweetallen aan de begrippenkaarten zou werken, viel de keus op twee relatief grote 3VWO-klassen, met ongeveer 30 leerlingen. Tijdens de voorafgaande stage van tien weken was klas 3A1 een ‘vaste’ klas, daarom was dit de experimentele groep. De controle groep was klas 3A2, waar slechts één keer een practicum was begeleid, en die volgens de reguliere docent (Altena) “ongeveer even goed” was. Beide klassen bestonden uit Atheneum-leerlingen en zij hadden twee lessen Natuurkunde in de week.

3.3 Tijdpad

Tijdens het onderzoek waren de klassen bezig met het onderwerp ‘optica’. Het verloop van deze periode is weergegeven in tabel 3.2. Na de eerste les is nog een proefwerk over het vorige hoofdstuk gegeven; de elfde les is in de controle groep alvast besteed aan het volgende hoofdstuk, net als de laatste les voor het proefwerk in beide groepen. Deze lessen behoren dus eigenlijk niet tot de lessenserie. De lessen die vet zijn gedrukt, zijn in het kader van het onderzoek bijgewoond. Daarnaast is in een andere derde klas het practicum over breking geobserveerd.

Tabel 3.2: Tijdpad lessenserie

wk	les	experimentele groep (3A1)	controle groep (3A2)
50	1	09/12 introductie optica	08/12 introductie optica
	-	10/12 (proefwerk elektriciteit)	11/12 (proefwerk elektriciteit)
51	2	16/12 pre-test & instructie kaarten	15/12 pre-test & uitleg constructie
	3	17/12 pre-kaart	18/12 practicum breking
kerstvakantie			
02	4	06/01 uitleg & stencil constructie	05/01 stencil constructie
	5	07/01 practicum breking	08/01 uitleg vergroting
03	6	13/01 uitleg vergroting	12/01 practicum lenzen
	7	14/01 practicum lenzen	15/01 uitleg lenzenformule
04	8	20/01 uitleg lenzenformule	19/01 uitleg & stencil spiegelwet
	9	21/01 uitleg & stencil spiegelwet	22/01 vragenuur
05	10	27/01 post-kaart & vragenuur	26/01 post-test, enquête & vragenuur
	11	28/01 post-test, enquête & vragenuur	29/01 (nieuw hoofdstuk)
06	-	03/02 (nieuw hoofdstuk)	02/02 (nieuw hoofdstuk)
	12	04/02 proefwerk optica	05/02 proefwerk optica

De experimentele groep heeft uiteindelijk over het hoofdstuk ‘optica’ één les meer gehad dan de controlegroep, die is besteed aan het maken van de pre-kaart. Daarnaast hebben ze een halve les minder gehad voor het stencil constructie en als vragenuur, omdat die werden gebruikt voor respectievelijk de instructie en de post-kaart.

3.4 Instrumenten

Het doel en de opzet van de diverse (les)activiteiten worden hieronder toegelicht. Gedurende het onderzoek zijn in de lessen diverse materialen gebruikt, welke zijn opgenomen in bijlage B. In deze paragraaf staat het ontwerp centraal, in de volgende paragraaf zijn de observaties opgenomen die zijn gedaan tijdens de uitvoering. In het volgende hoofdstuk worden de resultaten uitgewerkt.

In tabel 3.3 is per deelvraag uit paragraaf 1.3.2 te zien, welke instrumenten (voornamelijk) zijn gebruikt om deze vraag te beantwoorden.

Tabel 3.3: Koppeling onderzoeksvragen en instrumenten

Onderzoeksvraag	Instrumenten								
	brief	pre-test	instructie	pre-kaart	lessen	post-kaart	post-test	enquête	proefwerk cijfers
1. Welke problemen ondervinden beginners bij het gebruik van begrippenkaarten? Hoe ondervangen we deze problemen?			×	×		×			
2. Welke moeilijkheden komen we tegen bij de beoordeling van begrippenkaarten? Hoe gaan we met deze moeilijkheden om?				×		×			
3. In hoeverre zijn begrippenkaarten een valide test van het begrip?	×			×		×	×		×
4. In welk opzicht verschilt de invloed van begrippenkaarten op diverse onderdelen van het begrip?	×						×		
5. Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van geslacht?	×						×		
6. Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van gemiddeld Natuurkunde-cijfer?	×						×		×
7. Wat is de attitude van leerlingen ten aanzien van begrippenkaarten?								×	×

Merk op dat de brief voor de leerlingen en de reguliere lessen niet bedoeld zijn voor de beantwoording van een specifieke onderzoeksvraag, en de bijbehorende kolommen dus leeg zijn.

Brief leerlingen Aan het begin van de lessenserie is in beide klassen een brief uitgedeeld, te vinden in bijlage B.1. Het voornaamste doel van de brieven was leerlingen te motiveren, door ze het idee te geven dat ze meededen aan een ‘echt’ wetenschappelijk onderzoek.

Om het onderzoek voor de leerlingen wat cachet te geven, waren de brieven in UT-huisstijl opgesteld en (met titulatuur) ondertekend. De strekking van het onderzoek werd grotendeels uit de doeken gedaan, hoewel voor beide klassen geldt dat de opzet van het onderzoek uiteindelijk iets anders is geworden, dan in de brief stond beschreven. De brief was tot op zekere hoogte ook bedoeld voor ouders, die nieuwsgierig zouden kunnen worden naar aanleiding van verhalen van hun kind; mede daarom is een e-mail adres opgenomen. Overigens is in de wandelgangen ook nog even een akkoord gevraagd aan en verkregen van de locatiedirecteur.

Pre-test Het doel van de pre-test was om het begrip en bestaande misconcepties in beide groepen vast te stellen. Deze pre-test was voor beide klassen exact hetzelfde, en is opgenomen in bijlage B.2. De antwoordsleutel is te vinden onderaan tabel D.3.

Om spieken te voorkomen is gebruik gemaakt van twee versies, met name omdat in één van de gebruikte lokalen de leerlingen in een groepje van vier aan een vaste tafel zaten. Deze versies verschilden niet qua inhoud of volgorde van de vragen, maar uitsluitend (bij de meeste vragen) in volgorde van de antwoorden. Het was de bedoeling om de leerlingen ongeveer 25 minuten de tijd te geven voor de test, en de verwachting was dat dat aan de krappe kant zou zijn. Daarom werd benadrukt dat men zoveel mogelijk de eerste gedachte moest invullen. Als men geen idee had, moest men een antwoord gokken en een kruisje voor de vraag zetten, zodat later bij de verwerking van data besloten kon worden deze antwoorden al dan niet mee te nemen. Uiteindelijk is van die informatie geen gebruik gemaakt.

De vragen in de test waren zowel wat indeling als inhoud betreft grotendeels gebaseerd op de mogelijke misconcepties uit paragraaf 2.3. Sommige vragen gingen over lesstof die in de derde klas behandeld werd, andere over stof die al in de tweede klas aan bod gekomen was, en de categorie “overig” bevat stof

die nog niet (expliciet) aan de orde was gekomen. De indeling van de vragen, de bijbehorende misconcepties en leerjaar zijn weergegeven in tabel 3.4. Als de misconceptie niet voorkomt in paragraaf 2.3, is deze tussen haakjes opgenomen in de tabel.

Tabel 3.4: Vragen pre-test

Onderwerp	Vraag	Leerjaar	Misconceptie
Karakter van licht	1	overig	Licht is er momentaan, op hetzelfde moment. Licht heeft een oneindige snelheid.
	2	2	Een lichtstraal geeft licht. Je kunt een lichtstraal zien, zonder dat hij op het oog valt.
	3	2	Licht kan in een bocht gaan.
	4	2	(Je kunt alle soorten licht zien.)
	5	2	De maan is een lichtbron, alleen wat minder fel dan de zon.
	6	2	(Een schaduw wordt niet bepaald door lichtbron en/of voorwerp.)
Reflectie	7	2	Bij een vlakke spiegel ligt het beeld in het vlak van de spiegel.
	8	3	(Je kunt een voorwerp in een spiegel zien als het op de lijn waarnemer-spiegel ligt.)
	9	2	(Reflectie is altijd spiegelende reflectie.)
Breking	10	overig	Wit is een kleur. Een regenboog bestaat uit zeven aparte kleuren.
	11	3	Een dikkere lens is ook een lens met grotere sterkte.
	12	3	Een virtueel beeld kun je niet zien en een reëel beeld wel.
	13	overig	(Een lichtstraal gaat rechtdoor bij verandering van medium.)
	14	3	De afstand tussen de lens en het scherm heeft geen effect op de scherpte van het beeld. Het scherm is overal neer te zetten voor een scherp beeld.
	15	overig	De vorm van het diafragma bepaalt de vorm van het beeld. En door de lens gedeeltelijk te bedekken verdwijnt ook een deel van de afbeelding.
Zien	16	2	Een voorwerp heeft geen licht nodig om gezien te kunnen worden. Zien of kijken heeft niets met licht te maken. Het oog “kijkt”. Licht is wel handig want dan zie je meer.
	17	2	Het mengen van kleuren met lichtbronnen gaat op dezelfde manier als met potloden of verf.
	18	2	(Een voorwerp heeft een rode kleur door het absorberen of uitzenden van rood licht.)

Instructie begrippenkaarten Omdat de leerlingen nog nooit eerder met begrippenkaarten hadden gewerkt, werd aan de experimentele groep na afloop van de pre-test een instructie gegeven, opgenomen in bijlage B.3.

Deze instructie duurde ongeveer een half uur, en bestond uit een presentatie met behulp van het SMART-board, en het door de leerlingen maken van een kaart aan de hand van een aantal beweringen. De instructie beperkte zich voornamelijk tot wat in paragraaf 2.2.2 de “eerste fase” is genoemd: uitleg over begrippen en het verschil met verbindingswoorden, en vertellen dat begrippenkaarten hiërarchische relaties visualiseren. De ‘tweede fase’ bestaat uit een stappenplan, en dat is tijdens de instructie niet expliciet aan de orde gekomen; de laatste dia is uiteindelijk niet vertoond.

De instructie begon met een motivatie: waarom zou je begrippenkaarten gebruiken? Daarvoor is een

vergelijking gebruikt met een routebeschrijving Enschede–Nijmegen. Op twee dia's werden achtereenvolgens een uitgebreid verhaal met volzinnen en (irrelevante) details weergegeven, en een schematische weergave met alleen plaatsnamen en wegnummers. Samen met de leerlingen werd geconcludeerd dat de kaart handiger is, omdat:

- Er minder details tussen staan;
- Onderlinge verbanden sneller zichtbaar zijn;
- Het makkelijker te onthouden is.

Vervolgens werd een bruggetje naar Natuurkunde gemaakt, waarbij de plaatsnamen “begrippen” werden, en de wegen “verbanden”. Als voorbeeld werd de opbouw van moleculen in atomen en atomaire deeltjes gebruikt. De begrippen waren al in een hoek van het scherm gezet, op het SMART-board scherm werden deze gerangschikt door ze over het scherm te bewegen, en ze werden voorzien van zowel verbindingslijnen als -woorden. Voor dit voorbeeld was gekozen, omdat de leerlingen deze lesstof al meerdere keren hadden gezien. Verder is onder meer benadrukt dat er in principe oneindig veel “goede” kaarten zijn, en dat er altijd één of meer verbindingen tussen begrippen zijn.

In de laatste tien minuten werd aan de leerlingen gevraagd zelfstandig een begrippenkaart te maken, aan de hand van een aantal beweringen over Donald Duck en zijn familie. Wederom een niet-Natuurkunde voorbeeld, omdat een natuurkundig onderwerp waarschijnlijk meteen een extra (psychologische) moeilijkheid zou introduceren. Verder was een voordeel van dit specifieke voorbeeld dat familiale relaties een voor de hand liggende ruimtelijke ordening hebben: vader en moeder bovenaan, zoon of dochter onderaan, en broers of zussen op gelijke hoogte. Voor Donald Duck geldt bovendien dat een aantal relaties zeer bekend is (oom, vriendin, neefjes), maar een aantal andere zeer onbekend (ouders, zus). Op die manier werden de kruisverbanden extra benadrukt: er was bijvoorbeeld gegeven dat Kwik, Kwek en Kwak de zoontjes van Dumbella zijn, en dat Dumbella de zus is van Donald. De leerlingen konden nu zelf concluderen dat Donald de oom is van de drie, iets dat al bekend verondersteld mocht worden. Tenslotte konden leerlingen de beweringen gemakkelijk aanvullen, omdat ze ook andere bewoners van Duckstad kennen.

Pre-kaart De les na de instructie kregen de leerlingen in de experimentele groep de opdracht in tweetallen een begrippenkaart over optica te maken. Deze opdracht is te vinden in bijlage B.4. Doel van deze opdracht was om vast te stellen welke problemen beginners met begrippenkaarten tegenkomen, en te analyseren óf, en zo ja hóe kaarten kunnen worden beoordeeld. Bij het maken van de kaart konden leerlingen gebruik maken van een samenvatting van de lesstof uit de tweede klas, afgedrukt in bijlage B.5. Het doel van de kaart was dus per se het in kaart brengen van begrip, want de benodigde kennis werd grotendeels aangeboden.

Idealiter zou je leerlingen aan het begin van een hoofdstuk misschien volledig zelfstandig een kaart willen laten maken, om zodoende misconcepties en lacunes in de kennis (anders gezegd: potentiële ZPD's) te identificeren. Het was echter de verwachting dat dit voor beginners niet haalbaar zou zijn, in ieder geval niet in de beschikbare tijd van een lesuur. Daarom werden in de samenvatting alle beweringen al gegeven. Deze samenvatting bestond uit de dikgedrukte woorden en zinnen die in het vorig jaar behandelde hoofdstuk stonden. Verder werden de hoofdvraag, het centrale begrip (“licht”) en zes aangrenzende begrippen met verbindingswoorden al gegeven, als een soort categorieën:

- straling – kan zijn – licht;
- licht – heeft – kleur;
- licht – heeft – richting;
- licht – is nodig voor – zien;
- licht – veroorzaakt – schaduw;
- licht – is afkomstig van – lichtbron.

Dit is vooral gedaan om te voorkomen dat de opdracht uiteindelijk 16 heel verschillende kaarten zou opleveren, die an sich geen onjuistheden bevatten, maar erg moeilijk met elkaar te vergelijken waren. De categorieën komen overigens slechts deels overeen met de onderverdeling uit paragraaf 2.3, omdat niet al die onderdelen evenveel in de boeken aan bod komen. De beweringen in de samenvatting waren ook gerangschikt volgens de zes categorieën.

Er werd in de uitgedeelde opdracht een acht-stappenplan gegeven, gebaseerd op de constructie-

procedure die is beschreven in paragraaf 2.2.2. Daarin werd benadrukt dat men de kaart aan een docent moest laten zien, voordat men pijlen ging trekken tussen de begrippen. Daarmee werd geprobeerd te stimuleren, dat men een tijdje zou doen over het selecteren, arrangeren en bediscussiëren van de begrippen. Tenslotte was er nog een aantal aanwijzingen, op basis van de gemaakte kaarten over Donald Duck. Het ging dan bijvoorbeeld om de opmerkingen dat het handig is om altijd pijltjes te gebruiken, dat er altijd een woord bij een pijltje moet staan, en dat twee begrippen niet samen een ‘eilandje’ mogen vormen.

Reguliere lessen Zoals weergegeven in tabel 3.2 bestond de lessenserie in beide klassen uit elf lessen, plus een proefwerk.

Van deze elf lessen werden er twee gebruikt voor practica over breking en lezen, te vinden in bijlage B.6, en twee anderen voor (uitleg over en) het maken van stencils met opdrachten, opgenomen in bijlage B.7. De eerste les van de serie was een soort introductie en herhaling van de stof uit het voorgaande jaar, met name met behulp van demonstratieproeven, in de laatste les(sen) voor het proefwerk was er gelegenheid om vragen te stellen en sommen uit het boek te maken. Twee andere lessen werden gevuld met uitleg over vergroting en de lenzenformule, en gaven eveneens de gelegenheid om sommen te maken of na te kijken. De overgebleven lessen werden gebruikt voor de andere activiteiten die in deze paragraaf beschreven worden.

Naast alle activiteiten in de reguliere lessen bleek het qua tijdsbesteding lastig de leerlingen regelmatig aan de kaart (experimentele groep) of een samenvatting (controle groep) te laten werken, zoals in eerste instantie de bedoeling was, en ook in de brief aan de leerlingen ook was aangekondigd. Daarvoor in de plaats is de post-kaart gekomen, die hierna aan de orde komt. Overigens was het in eerste instantie de bedoeling het proefwerk een week eerder te geven en de post-test na het proefwerk te doen, maar gezien de werkdruk voor de leerlingen is die planning later aangepast.

Post-kaart Doel van de post-kaart voor de experimentele groep was, in tegenstelling tot de pre-kaart, wél het (tot op zekere hoogte) vaststellen van de mate van begrip bij de leerlingen.

Omdat de tijdsplanning geen activiteit van een vol lesuur toestond, en meer gesloten antwoorden dan bij de pre-kaart gewenst waren, teneinde een goede beoordeling mogelijk te maken, is gekozen voor een opdracht op basis van de begrippenkaart van een expert. Zoals te zien in bijlage B.8, waren er in het zogeheten raamwerk 18 lege plekken die moesten worden ingevuld. Daarbij mochten leerlingen hun boek, stencils en aantekeningen gebruiken, en mocht er met buurman of -vrouw overlegd worden. De leerlingen konden ongeveer 25 minuten aan deze opdracht werken. Het raamwerk en de opdracht waren zo opgezet, dat een flink aantal aan te vullen beweringen het antwoord bevatten uit een testvraag. Omdat er bij de pre-kaart soms wat verwarring was ontstaan over de richting van verbanden, waren deze allemaal voorzien van een pijl.

Post-test De post-test voor beide groepen was exact hetzelfde als de pre-test. Niet alleen omdat het doel hetzelfde was, namelijk het vaststellen van het begrip en opsporen van misconcepties, maar ook omdat de resultaten met elkaar vergeleken moesten worden.

Enquête Het doel van de enquête was om vast te stellen wat de attitude van leerlingen was.

Daarbij ging het om Natuurkunde in het algemeen, specifiek het hoofdstuk over optica, en in detail de diverse lesonderdelen: uitleg, stencils, sommen, practica en eventueel begrippenkaarten. De vraag was niet alleen wat leerlingen leuk vonden, maar ook wat ze het meest leerzaam vonden. Ook werd expliciet gevraagd op welke onderdelen (herhaling, samenvatting, overzicht) ze vaker begrippenkaarten zouden willen gebruiken. Daarnaast was er een open vraag wat men van begrippenkaarten vond.

De enquête voor de experimentele groep is opgenomen in bijlage B.10; die voor de controle groep bevatte logischerwijs de vragen over begrippenkaarten niet.

Proefwerk Het proefwerk was gelijk voor beide groepen en vrijwel identiek aan dat van andere jaren. Het proefwerk is opgenomen in bijlage B.9, en bestaat uit de volgende onderdelen:

- Kleuren;
- Breking;
- Constructie met spiegels en lenzen;
- Berekening met lenzenformule en vergroting.

Cijfers Om (groepen) leerlingen te kunnen vergelijken, worden cijfers uit 2V en 3V verzameld, van proefwerken, practica en rapporten.

3.5 Data

Met de instrumenten die in de vorige paragraaf zijn beschreven, is de data voor het onderzoek verzameld. In deze paragraaf worden achtereenvolgens het gebruik van de instrumenten, de verwerking van de data en de aansluitende analyse besproken. De resultaten zélf komen aan bod in het volgende hoofdstuk.

3.5.1 Verzameling

Details over het gebruik van deze instrumenten, dat wil zeggen observaties tijdens de lesactiviteiten, zijn opgenomen in deze paragraaf.

Pre-test Na een korte introductie over het hoe en waarom, en de belofte dat medewerking uiteindelijk een traktatie op zou leveren, is de pre-test uitgedeeld als een soort schriftelijke overhoring. Er is benadrukt dat het ging om wat men dacht, en dat er geen berekeningen of toelichtingen vereist waren. Desgevraagd is gezegd dat er geen cijfer zou worden gegeven voor de toets.

Zoals gezegd was de verwachting dat de 25 beschikbare minuten voor de pre-test krap zou zijn, maar het tegendeel bleek waar. Wellicht mede door de instructie om de eerste ingeving te volgen was in beide klassen iedereen binnen een kwartier klaar. In de experimentele groep was het muisstil als bij een proefwerk, in de controlegroep werd zo nu en dan nog wat gefluisterd, waarschijnlijk mede doordat leerlingen met z'n vieren dicht bij elkaar aan een tafel zaten. Bij het innemen van het werk viel op dat er meteen wat antwoorden uitgewisseld werden, en sommige leerlingen zich letterlijk dan wel figuurlijk voor het hoofd sloegen, in een soort 'Aha-erlebnis'. Gedurende de lessenserie vroegen leerlingen regelmatig of ze de resultaten van de test nog terug zouden krijgen.

Instructie begrippenkaarten Tijdens het eerste, interactieve deel van de instructie waren de leerlingen het snel eens dat het uitleggen van een routebeschrijving met behulp van een kaart makkelijker is dan uitleg door middel van een (lang) verhaal. Op de opmerking dat het bij Natuurkunde "niet anders is" en er manieren zijn om een lange lap tekst grafisch samen te vatten, kwam de gevatte opmerking "Daar komt hij nou mee!" uit de klas. Tijdens of na de uitleg waren er eigenlijk geen vragen; het laatste voorbeeld ("dieren kunnen zijn honden/katten, honden doen blaffen, katten doen miauwen, honden/katten hebben staart") leek men al wat overbodig te vinden.

Met de Donald Duck-kaart ging iedereen meteen aan de slag. Ongeveer de helft van de leerlingen vroeg een blaadje om de opdracht te maken; kennelijk wilde men daar niet het Natuurkunde-schrift voor gebruiken. Er was eigenlijk maar één vraag, maar dat was gelijk een interessante: iemand vroeg of je uit het feit dat Woerd de vader is van Donald, en Donald de broer van Dumbella, kon concluderen dat Woerd de vader is van Dumbella. Het (biologische) antwoord is natuurlijk dat dat niet noodzakelijkerwijs zo hoeft te zijn, maar de leerling is gecompimenteerd met zijn poging een nieuw (kruis)verband te leggen. De leerlingen hoefden weinig aan het werk gezet te worden, men was behoorlijk enthousiast bezig.

De leerlingen die de kaart op een los blaadje hadden gemaakt, hebben deze aan het einde van de les ingeleverd. Dat was vooraf niet aangekondigd, en daardoor ontstond er wat protest. Dat zou kunnen zijn omdat leerlingen niet hun best hadden gedaan en bang waren dat het werk beoordeeld

zou worden, maar wellicht was het eerder omdat men wat slordig had gewerkt en soms een tekening of grapje op het blaadje had gezet. Uiteindelijk heeft ongeveer de helft van de leerlingen (anoniem) het blaadje ingeleverd.

Pre-kaart Allereerst is aangegeven dat de leerlingen de vorige kaart heel aardig hadden gemaakt, en dat deze nog wat kleine aanwijzingen had opgeleverd. Zo hadden veel leerlingen de kaart logischerwijs als een spinnenweb rond het begrip “Donald Duck” opgezet, waar voor de pre-kaart een soort boomstructuur met “licht” aan de top meer voor de hand zou liggen. Deze aanwijzingen waren overigens ook uitgeschreven op de hand-out met de opdracht. Vervolgens is uiteengezet wat de bedoeling was, en is hoofdstructuur van de kaart (die op de hand-out was beschreven) op het bord gezet ter illustratie. Het materiaal dat beschikbaar werd gesteld, waren drie lege A3-bladen die met de lange zijden aan elkaar waren geplakt, een setje kleine Post-it blaadjes, de opdracht zelf, en een samenvatting van 2V op een hand-out.

De meeste leerlingen lazen de opdracht niet na, maar men begon meteen enthousiast met het vol-schrijven van Post-it blaadjes, het accentueren van begrippen in de samenvatting, enzovoort. Als snel ontdekten een paar leerlingen dat het handig was om de blaadjes die nog geen plek hadden gekregen op de kaart, op de ‘stroompaal’ in het midden van de tafel te plakken. Ze gebruikten deze paal dus als een zogeheten parkeerplaats. Ook deze les waren er opvallend weinig vragen, noch over Natuurkunde, noch over de begrippenkaarten. Er was één groepje dat iets vroeg over kleuren, en die heeft toen even een boek geleend. Andere vragen gingen over het zetten van meerdere begrippen op één kaart (“Mag dat?”) en het gebruik van accolades. Overigens is aangegeven dat het eerste eventueel wel mocht (om ruimte te besparen), en dat het tweede niet de bedoeling was, in ieder geval niet als er geen verbindingswoord werd vermeld. De reguliere docent liep ook rond om zo nu en dan een kritische vraag te stellen, maar het kwam er niet van om dat systematisch te doen, omdat het globaal van 16 groepjes al flink wat tijd en energie kostte.

Ongeveer tien minuten voor tijd bleek dat de meeste groepjes al wel begrippen hadden gerangschikt, maar nog geen verbanden hadden gelegd. Overigens was ook de instructie om pas lijnen op het vel te trekken, als de begrippen goed waren gekeurd door een docent. De leerlingen zijn toen (klassikaal) aangespoord dat te gaan doen. Aan het einde van de les hadden alle groepjes nog wel even door kunnen en (op één na) willen werken. De begrippenkaarten waren over het algemeen niet “af”.

In een poging een raamwerk te maken, wat eventueel gebruikt kon worden voor het beoordelen van de kaarten, bleek het maken van de kaart een stuk lastiger dan verwacht. Met name het leggen van kruisverbanden bleek niet eenvoudig, zonder de beweringen in de samenvatting uit te breiden of op zijn minst (heel) anders te formuleren. Daarnaast was moeilijk om los te komen van de redelijk compacte bewoordingen, die soms toch nog te lang waren voor de begrippenkaart.

Reguliere lessen Zoals aangegeven in tabel 3.2 is ongeveer de helft van de lessen geobserveerd, om een idee te krijgen in hoeverre de gang van zaken in de beide groepen vergelijkbaar was. Bij practica en het beantwoorden van individuele vragen is de reguliere docent geassisteerd.

Over het algemeen leken er geen grote verschillen tussen de beide groepen te zijn. De lessen verliepen nagenoeg op dezelfde manier, en er werden vergelijkbare vragen gesteld. Over het algemeen zou je kunnen stellen dat de experimentele groep wat meer gelaten en kalmer was. Als de docent bij een meting tijdens een demonstratie bijvoorbeeld wat ‘smokkelde’ om de getallen goed te laten uitkomen, leverde dat geen protesten op. Een fout op het bord (zoals het verwisselen van de woorden “beeldafstand” en “voorwerpafstand”) werd heel voorzichtig en pas na een tijdje opgemerkt. De controle groep was brutaler en onrustiger: tijdens klassikale uitleg moest de docent regelmatig wat aandacht geven aan leerlingen die aan het kletsen waren, of om een andere reden te weinig aandacht toonden. De docent gaf ook aan dat hij het idee had dat de experimentele groep van de uitleg wat meer opstak dan de controle groep.

Post-kaart Na een korte uitleg over de bedoeling van de opdracht, gingen leerlingen de opdracht meteen te lijf, alsof het een (kruiswoord)puzzel was. Het viel op dat men erg gemotiveerd was, dat er bijvoorbeeld geen klachten waren dat men “al zoveel practica, stencils en sommen” moest maken,

terwijl dat op zich best te rechtvaardigen was geweest. Hoewel expliciet was aangegeven dat er geen cijfer voor gegeven zou worden, was men over het algemeen tot het laatste moment bezig om ontbrekende vragen in te vullen. De voornaamste reden om op een gegeven moment de opdracht in te nemen, was dat het opviel dat er meer antwoorden werden uitgewisseld naar voren en achteren, zonder dat er nog echt over gediscussieerd werd.

Bij het innemen kwam overigens van verschillende leerlingen het expliciete verzoek de antwoorden te krijgen vóór het proefwerk. De toezegging dat iedereen een ingevulde versie van de opdracht zou krijgen, kon op opvallend veel enthousiasme rekenen. Kennelijk zag men de kaart als een nuttig hulpmiddel, als een soort samenvatting voor het proefwerk.

Post-test & enquête De afname van de post-test verliep op vergelijkbare wijze als bij de pre-test. Er werd gebruik gemaakt van één versie, maar in het lokaal waar de leerlingen dicht bij elkaar zitten konden ze over twee lokalen worden verdeeld, met een surveillant in het andere lokaal. Het viel in de controle groep op dat maar één leerling achteraf vroeg of het dezelfde toets was als die men eerder had gemaakt. Een andere gehoorde opmerking was: “Ik snapte er toen niks van, en snap het nog steeds niet...” Ook nu was iedereen ongeveer in een kwartier klaar.

Cijfers De cijfers uit 2V zijn verkregen met behulp van de docenten van vorig jaar en de administratie, cijfers uit 3V konden ingezien worden via de elektronische leeromgeving. Tussen de leerlingen was er één zittenblijver en één zij-instromer, waarvoor geen cijfers uit de tweede klas zijn verzameld.

3.5.2 Verwerking

Alle data is verzameld in een grote tabel, in eerste instantie in Excel en later in SPSS. Om de analyses te kunnen doen, is een aantal bewerkingen uitgevoerd:

- De (gehusselde) antwoorden op de pre en post-test zijn ‘vertaald’ naar één versie, ingevoerd en door middel van vergelijking met de antwoordsleutel onderin tabel D.3 omgezet in een cijfer per vraag (1 of 10). Met behulp daarvan kon bijvoorbeeld een gemiddeld cijfer voor de test worden berekend. Daarnaast is geregistreerd hoe vaak men door middel van een kruisje had aangegeven dat men een ‘gokje’ had gedaan, hoewel met die informatie uiteindelijk niets is gedaan, voornamelijk omdat sommige leerlingen dat deel van de toets-instructie niet goed hadden meegekregen. Tenslotte is er een gemiddeld cijfer berekend, zowel over alle vragen, als de groepen vragen uit tabel 3.4, zowel naar onderwerp als jaargang;
- De resultaten van de Donald Duck-kaart tijdens de instructie in de experimentele groep zijn niet individueel beoordeeld of teruggekoppeld, maar gebruikt om kwalitatief te analyseren welke problemen beginners met begrippenkaarten tegenkomen, en wat aanwijzingen te geven voorafgaand aan het maken van de pre-kaart. Deze resultaten zijn niet opgenomen in dit rapport;
- Van de pre-kaart in de experimentele groep is een aantal kwantitatieve en kwalitatieve eigenschappen verzameld. Daaronder het aantal begrippen aan het centrale begrip “licht”, en het aantal begrippen in de zes categorieën die in de opdracht onderscheiden werden. Verder is de structuur van de diverse categorieën beoordeeld (onvolledig, keten, spinnenweb of netwerk), en is voor een zevental vragen gekeken of het antwoord op bepaalde vragen uit de testen in de kaart naar voren kwam. In het laatste geval is er niet alleen onderscheid gemaakt tussen wel (1) en niet (0), maar is ook een tussencategorie (0,5) gebruikt;
- Van de post-kaart zijn op elk van de 18 vragen alle verschillende antwoorden verzameld in tabellen en zoveel mogelijk gegroepeerd, waarbij kleine verschillen in de verwoording werden genegeerd. Deze antwoorden zijn vervolgens ingedeeld in de vier categorieën “fout” of ontbrekend (cijfer 1), “bijna goed” of een beetje ambigu (4), “op zich goed” of minder relevant (7), en “helemaal goed” (10). Een overzicht is te vinden in tabel 3.5. Op basis van die cijfers is een gemiddeld cijfer voor de post-kaart berekend;
- De antwoorden op de enquête, die was opgesteld met behulp van een Likertschaal (stellingen, met antwoorden die in vier trappen varieerden van “helemaal niet mee eens” tot “helemaal mee eens”), zijn omgezet naar de cijfers 1 tot en met 4. De antwoorden op de open vraag

over “begrippenkaarten” zijn verzameld in tabel D.11, de “overige opmerkingen” leverden geen (nuttige) informatie op.

Tabel 3.5: Antwoordmodel post-kaart

Vraag	Cijfer		
	10	7	4
1 2 3 4 5 6	onzichtbaar, onzichtbare straling is nodig voor lens reëel door lens heen vergroting	onzichtbaar licht kun je	
7 8 9	beeldafstand voorwerpsafstand bolling	vorm, dikte en vorm	brandpuntsafstand, dikte
10 11 12 13 14 15	divergent breking diffuus spiegelend veroorzaakt, geeft is		
16 17 18	normaallijn achter de spiegel op zelfde afstand als	tegenover	even groot als

3.5.3 Analyse

Het ontwerp van het onderzoek geeft de mogelijkheid om veel data te verzamelen en te analyseren. Juist daarom is het van belang vooraf aan te geven welke analyses (berekeningen en toetsen) op de data uitgevoerd gaan worden. Het systematisch onderzoeken van een groot aantal verbanden, zal immers allicht een aantal statistisch significante relaties opleveren, die niet perse valide hoeven te zijn. Derhalve wordt in deze paragraaf globaal besproken welke analyses op de data uitgevoerd gaan worden, waarbij de details en resultaten in het volgende hoofdstuk zijn opgenomen. Als referentie is het boek van Moore en McCabe (2001) gebruikt.

Overal waar in deze thesis gesproken wordt over significantie, is een algemeen gebruikelijk niveau van $\alpha = 0,05$ aangehouden. Verder is bij gebruik van de t-toets voor onafhankelijke steekproeven, verondersteld dat de standaardafwijkingen binnen de steekproeven niet gelijk zijn. Voor een aantal situaties is de gelijkheid getest met de toets van Levene, wat meestal geen significant resultaat opleverde. Klassen zijn geen ideale aselechte steekproeven; het is derhalve aannemelijk dat de verschillen tussen leerlingen in de ene klas groter zijn dan in de andere. Overigens zouden de resultaten wat significantie betreft (vrijwel) niet veranderen, als met de overschrijdingskansen voor gelijke standaardafwijkingen zou worden gerekend.

De analyses zijn ingedeeld in categorieën volgens de deelvragen uit paragraaf 1.3.2. Voor alle vragen wordt aangegeven met welke statistiek deze (wellicht) beantwoord kan worden. De eerste categorie correspondeert niet met een specifieke deelvraag.

Algemeen Bij het toetsen van hypothesen wordt vaak uitgegaan van normaal verdeelde variabelen, zonder ‘uitschieters’ in de dataset. Hoewel met name bij grote steekproeven de ene toets wat robuuster is tegen niet-normaliteit en uitschieters dan de andere, is het goed om globaal na te gaan in hoeverre deze aannames geldig zijn voor de variabelen die gebruikt worden. Hulpmiddel hierbij is het histogram, dat een verdeling weergeeft, en het normaal-kwantiel diagram, waarin een normale verdeling een rechte lijn oplevert. Een vuistregel is dat voor een steekproefomvang vanaf 15 de t-toets robuust is tegen lichte niet-normaliteit, en vanaf 40 ook voor duidelijk scheve verdelingen.

Daarnaast is het de vraag in hoeverre zowel de twee klassen, als jongens en meisjes bij aanvang van het experiment vergelijkbaar zijn. Eventuele verschillen kunnen worden opgespoord met de t-toets voor onafhankelijke steekproeven, toegepast op bijvoorbeeld rapportcijfers en pre-test resultaten.

Gebruik van kaarten

1. *Welke problemen ondervinden beginners bij het gebruik van begrippenkaarten? Hoe ondervangen we deze problemen?*

Bij deze deelvraag ligt het voor de hand geen kwantitatieve, maar kwalitatieve analyses uit te voeren. Zo kunnen we kijken in hoeverre met name de gemaakte pre-kaarten voldoen aan de eigenschappen die zijn geformuleerd in paragraaf 2.2.1, en of er opvallende fouten qua inhoud of opbouw worden gemaakt.

Beoordeling van kaarten

2. *Welke moeilijkheden komen we tegen bij de beoordeling van begrippenkaarten? Hoe gaan we met deze moeilijkheden om?*

Van de suggesties voor de beoordeling uit paragraaf 2.2.2 kan een aantal uitgeprobeerd worden, zoals het tellen van het aantal beweringen, begrippen, (kruis)verbanden en/of inhoudelijke fouten. Daarnaast kan de structuur geanalyseerd worden, kwantitatief of kwalitatief.

Test van begrip

3. *In hoeverre zijn begrippenkaarten een valide test van het begrip?*

Bij andere deelvragen wordt aangenomen dat het begrip en de verandering daarin kan worden gemeten met behulp van de testen. Het is de vraag welke aspecten van het begrip die testen eigenlijk meten. De samenhang met andere resultaten als proefwerken, practica en rapporten kan gevisualiseerd worden met behulp van een spreidingsdiagram, en gekwantificeerd met het kwadraat van Pearson's correlatiecoëfficiënt r^2 . Daarnaast is de vraag wat de relatie is tussen de inhoud van gemaakte kaarten en de antwoorden op bijbehorende testvragen. Hiervoor kunnen kruistabellen worden opgesteld, waarbij bijvoorbeeld de χ^2 -toets kan worden gebruikt.

Verandering van begrip

4. *In welk opzicht verschilt de invloed van begrippenkaarten op diverse onderdelen van het begrip?*

Aangenomen dat de testen op zijn minst een vorm van begrip meten, ligt het voor de hand de resultaten van beide testen te analyseren. Dat kan met behulp van een gemiddeld cijfer op micro-niveau (voor elke vraag individueel), op macro-niveau (voor de test als geheel), of op meso-niveau (per groep vragen). De resultaten van de pre en post-test kunnen afzonderlijk worden beschouwd, waarbij groepen leerlingen worden vergeleken. In dat geval kan bijvoorbeeld de t-toets voor twee onafhankelijke steekproeven worden gebruikt. Daarnaast kunnen de scores voor de twee testen worden geanalyseerd, met name om te zien welk effect het gebruik van begrippenkaarten mogelijk heeft. Hiervoor is de t-toets voor gekoppelde paren bruikbaar. Tenslotte kan het verschil tussen pre en post-test worden beschouwd, en kan met de t-toets voor onafhankelijke steekproeven worden getest of bij de ene groep leerlingen de verandering verschilt ten opzichte van de andere groep.

5. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van geslacht?*
6. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van gemiddeld Natuurkunde-cijfer?*

Op basis van onder meer histogrammen en spreidingsdiagrammen, kan een keuze worden gemaakt voor een variabele om onderscheid te maken tussen leerlingen die 'goed' zijn in Natuurkunde, en leerlingen die 'minder goed' zijn. Groepen leerlingen kunnen dan vergeleken worden met de t-toets voor onafhankelijke steekproeven.

Attitude van leerlingen

7. *Wat is de attitude van leerlingen ten aanzien van begrippenkaarten?*

De cijfermatige waardering door leerlingen van begrippenkaarten kan globaal (dat wil zeggen: niet met een toets) worden vergeleken met die van andere lesonderdelen. Met de t-toets voor onafhankelijke steekproeven kan de waardering van die lesonderdelen door verschillende klassen geslachten worden vergeleken.

4. Resultaten en discussie

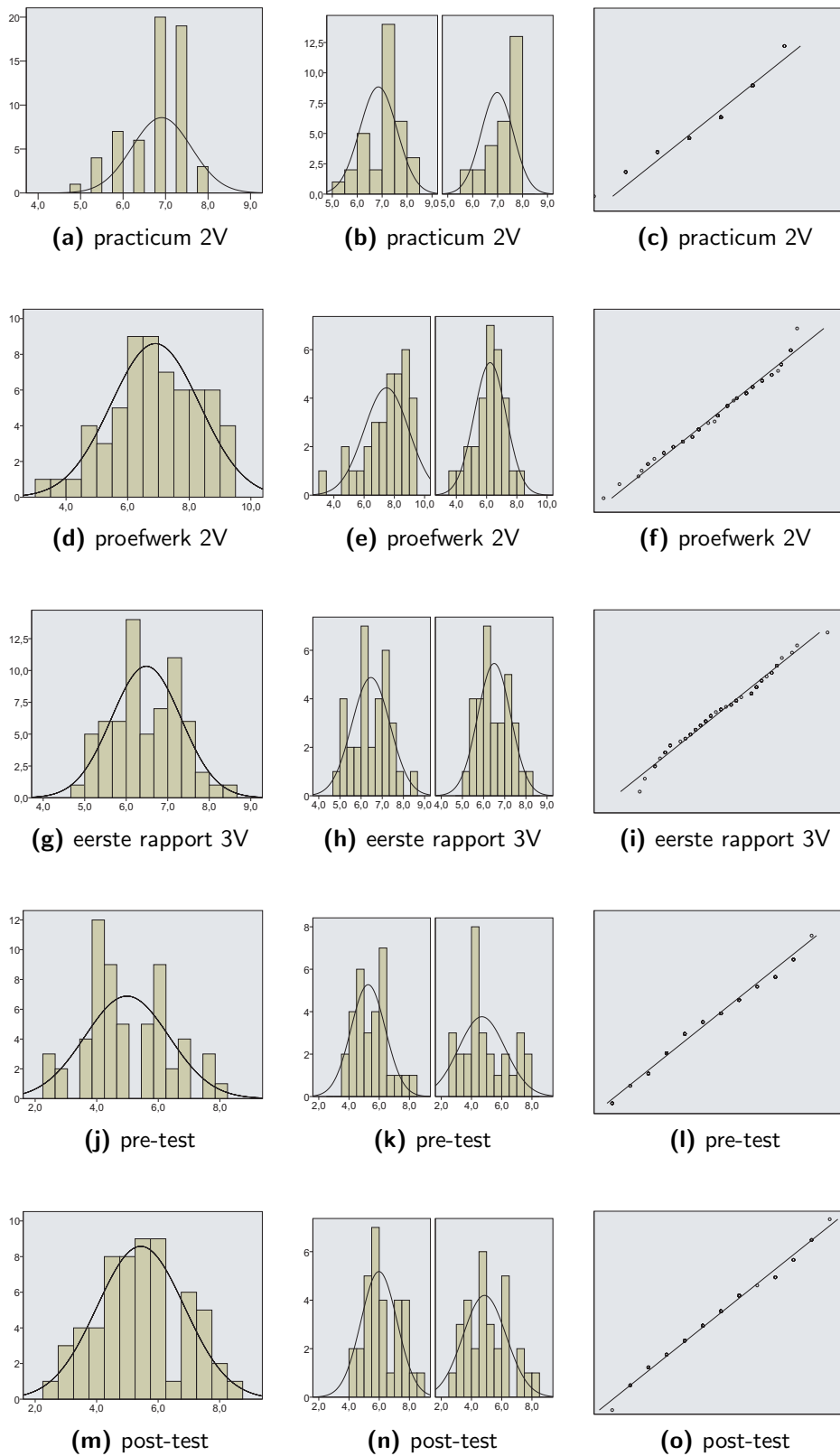
De resultaten, verkregen met de instrumenten die zijn behandeld in paragraaf 3.4, zijn opgenomen in bijlagen C (kaarten) en D (data). In dit hoofdstuk worden allereerst deze resultaten geanalyseerd en bediscussieerd. Tenslotte worden in paragraaf 4.7 diverse kritische kanttekeningen geplaatst, en is een korte reactie van de reguliere docent van beide klassen opgenomen in paragraaf 4.8.

De presentatie en discussie van de resultaten volgt de onderzoeksvragen en analyses, zoals toegelicht in paragraaf 3.5.3. Verschillende vragen en aspecten daarvan beginnen voor de overzichtelijkheid op een nieuwe pagina, en onderzoeksvragen plus (tussen)conclusies zijn cursief gedrukt.

4.1 Algemeen

De eerste vraag die we onszelf stellen, is of variabelen over het algemeen normaal verdeeld zijn. In figuur 4.1 zijn voor een aantal variabelen histogrammen (links totaal, midden per klas) en normaal-kwantiel diagrammen (rechts) afgebeeld. Hoewel uit de histogrammen blijkt dat de ene verdeling wat meer afwijkt van de best-fit normale verdeling dan de andere, liggen in de normaal-kwantiel diagrammen alle punten redelijk op een rechte lijn. De afwijkingen duiden op een lichte scheefheid, maar grote uitschieters zijn niet aanwezig, en de steekproefgrootte ligt meestal rond de 30.

Derhalve wordt geconcludeerd dat het gebruik van t -toetsen over het algemeen is toegestaan. Hetzelfde wordt overigens aangenomen voor variabelen die niet zijn getoond, inclusief de variabelen die mogelijk een kleinere steekproefgrootte hebben.



Figuur 4.1: Histogrammen (links=totaal, midden= $3A1/3A2$) en normaal-kwantiel diagrammen (rechts)

Verder vragen we ons af in hoeverre de twee klassen, alsmede jongens en meisjes vergelijkbaar zijn. In tabel 4.1 zijn diverse resultaten verzameld, en de gelijkheid van gemiddelde is getest met de t-toets voor onafhankelijke steekproeven. Te zien is dat de experimentele groep de post-test en het proefwerk in de derde klas significant beter heeft gemaakt dan de controle groep, terwijl dat voor de pre-test niet geldt. Voor alle practica geldt dat de absolute verschillen klein zijn, en aanwezige (significante) verschillen worden genegeerd.

Tabel 4.1: Vergelijking resultaten 3A1 vs. 3A2

Onderdeel	N_{A1}	N_{A2}	$\hat{x}$ 3A1	$\hat{x}$ 3A2	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
practicum 2V	33	27	6,8	7,0	-0,13	0,46	–
proefwerk 2V	33	29	7,5	6,2	1,25	0,00	+
eindrapport 2V	33	30	7,5	7,0	0,49	0,01	+
1e rapport 3V	33	32	6,5	6,5	-0,04	0,85	–
practicum-1 3V	32	29	8,0	7,8	0,17	0,04	+
practicum-2 3V	28	28	7,8	7,7	0,14	0,32	–
proefwerk 3V	32	27	8,3	7,3	1,03	0,00	+
pre-test	30	29	5,3	4,7	0,58	0,11	–
post-test	31	30	6,0	4,9	1,12	0,00	+
post-kaart	27		7,3				

Ook het proefwerkcijfer voor optica en het cijfer op het eindrapport in 2V zijn significant beter voor de experimentele groep, terwijl dat voor het eerste rapport in 3V absoluut niet geldt. Voor een mogelijke verklaring kijken we naar de ‘herkomst’ van de leerlingen, weergegeven in tabel 4.2. Te zien is dat 3A1 voornamelijk uit een Atheneum-klas is gevormd, terwijl de leerlingen in 3A2 bijna geheel uit Havo/Atheneum-klassen komen. Voor zover bekend hebben deze klassen weliswaar dezelfde docent gehad en proefwerken/practica gemaakt, maar het lijkt niet onlogisch dat het niveau van de leerlingen door de klas werd beïnvloed.

Tabel 4.2: Herkomst leerlingen 3A1 vs. 3A2

		klas in 2V							
		overig	2A1	2G1	2G2	2G3	2HA1	2HA2	2HAS1
klas in 3V	3A1		24	1	1	1	5	1	
	3A2	2			2		8	16	4

In tabel 4.3 is te zien dat de jongens vaak wat beter scoren dan de meisjes. Bij de post-test is dat verschil met meer dan een vol punt significant, bij de pre-test en de post-kaart (net) niet. Als dezelfde vergelijking echter zou worden gemaakt voor de afzonderlijke klassen, zou er geen significant verschil meer zijn. In de controle groep zitten verhoudingsgewijs meer meisjes, en dat beïnvloedt de vergelijking.

Tabel 4.3: Vergelijking resultaten Man vs. Vrouw

Onderdeel	N_M	N_V	$\hat{x}$ M	$\hat{x}$ V	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
practicum 2V	20	40	6,7	7,0	-0,28	0,20	–
proefwerk 2V	22	40	7,1	6,8	0,33	0,40	–
eindrapport 2V	22	41	7,4	7,1	0,28	0,15	–
1e rapport 3V	22	43	6,6	6,4	0,18	0,43	–
practicum-1 3V	20	41	7,9	7,9	0,00	0,98	–
practicum-2 3V	19	37	7,7	7,7	0,01	0,95	–
proefwerk 3V	20	39	8,1	7,7	0,34	0,33	–
pre-test	21	38	5,4	4,8	0,62	0,09	–
post-test	22	39	6,2	5,0	1,13	0,00	+
post-kaart	12	15	7,8	7,0	0,76	0,06	–

Uit het feit dat het eerste rapportcijfer in de derde klas vrijwel gelijk is, en de score op de pre-test niet significant verschilt, wordt geconcludeerd dat zowel groepen als geslachten redelijk vergelijkbaar waren, in elk geval bij aanvang van de lessenserie. Over het (significante) verschil op de post-test komen we later te spreken.

4.2 Gebruik van kaarten

1. *Welke problemen ondervinden beginners bij het gebruik van begrippenkaarten? Hoe ondervangen we deze problemen?*

We kijken allereerst (en voornamelijk) naar de pre-kaart. Uit de kaarten in bijlage C blijkt dat leerlingen over het algemeen de opdracht begrepen hebben en er allemaal in zijn geslaagd een leesbare begrippenkaart te produceren. Er zijn wel veel verschillen in de omvang en kwaliteit van de kaarten, waarover bij de volgende deelvraag meer.

Niet alle kaarten voldoen strikt aan de eigenschappen van een goede begrippenkaart, zoals geformuleerd in paragraaf 2.2.1. Zo zijn verbanden niet altijd voorzien van een verbindingswoord, beschrijven de begrippen niet altijd een gemeenschappelijke eigenschap (regelmaticheid), en is het de vraag in hoeverre Ausubel's theorie van betekenisvol leren ten grondslag ligt aan het leerproces. Mede dankzij de voorgeschreven structuur zijn de meeste kaarten qua hiërarchie in ieder geval goed georganiseerd. Het centrale begrip "licht" en de verschillende categorieën daaraan zijn bij iedereen terug te vinden.

Het gebeurt bij het lezen van de kaart vaak dat in eerste instantie niet duidelijk is wat een leerling bedoelt, omdat de twee begrippen en het verband samen geen bewering vormen, geen lopende zin zijn. Na enig puzzelwerk is dat soms in tweede instantie wel duidelijk, maar in andere gevallen blijven de kaarten ronduit cryptisch. Zo lees je bijvoorbeeld "kleur kan terugkaatsen" (figuur C.5), "prisma wordt rood/groen/blauw" (figuur C.8) en "drie soorten rechte lijnen: absorberen, doorlaten, spiegelend/diffruus" (figuur C.1). Dat heeft deels te maken met de keuze van begrippen: men heeft bijna altijd letterlijk woorden uit de samenvatting gebruikt, terwijl het soms handiger was geweest een afgeleide vorm van de woorden of een iets andere formulering van de bewering te gebruiken. Dit lijkt mede het gevolg van de keuze om een kernachtige samenvatting te verstrekken, op basis waarvan men de kaart moest maken. De verwachting was namelijk dat het destilleren van beweringen uit het boek teveel tijd zou kosten. Bovendien konden de leerlingen niet meer beschikken over het boek van 2V. Wellicht hadden de leerlingen expliciet geïnstrueerd kunnen worden, dat de zinnen van de samenvatting niet letterlijk gebruikt hoefden te worden, of hadden de begrippen (voor een deel) vooraf verstrekt kunnen worden.

Ook het formuleren van verbanden en kernachtige verbindingswoorden blijkt lastig te zijn voor leerlingen. Soms worden er lange zinnen gebruikt (figuur C.11), andere keren wordt een zin uit de samenvatting in een keten vertaald ("schaduw ontstaat als licht door de lichtbron wordt tegengehouden", figuur C.9), of missen de verbindingswoorden überhaupt grotendeels (figuur C.1 en C.7). Kruisverbanden zijn niet of nauwelijks aanwezig. Op de plaatsen waar daar een mogelijkheid toe bestaat, laten leerlingen liever het begrip twee keer in de kaart staan: bijvoorbeeld "(zichtbaar) licht" in figuur C.7, en "ultraviolet" in figuur C.12. In andere gevallen wordt het verband niet expliciet gemaakt: zo wordt in figuur C.1 niet vermeld dat "licht" onderdeel is van het "stralingsspectrum". Het is moeilijk leerlingen te 'dwingen' tot het leggen van kruisverbanden. Je zou in ieder geval kunnen aangeven dat een begrip niet vaker dan één keer in een kaart mag voorkomen.

Tenslotte was er nog een spontane uitbreiding: er is één groepje dat op eigen initiatief andere Post-it's gebruikte, en daarbij diverse niveaus verschillende kleuren gaf (figuur C.16). Ze vertelden zelf met de uitwerking ervan niet helemaal tevreden te zijn, maar het idee was in elk geval aardig. Het voegt een extra dimensie toe, waarbij voorbeelden of 'nieuwe stof' bijvoorbeeld een andere kleur kunnen krijgen.

Bij de post-kaart waren er beduidend minder problemen. Soms waren begrippen verbanden niet helemaal duidelijk, of vulden leerlingen een antwoord in dat weliswaar feitelijk niet incorrect was, maar bijvoorbeeld niet zo relevant.

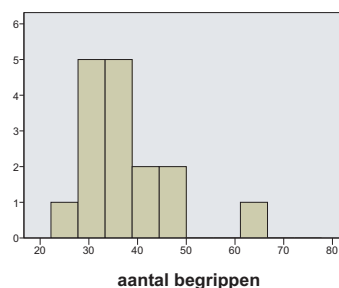
Samengevat kan worden gesteld dat beginners na instructie niet op onoverkomelijke problemen zijn gestuit bij het maken van een kaart, maar dat de duidelijkheid vaak te wensen overlaat, door een slechte keuze van begrippen en verbanden. Het vooraf selecteren en eventueel ordenen van een aantal begrippen door een expert kan daarbij helpen. Dat werkt mogelijk beter dan het geven van hele beweringen.

4.3 Beoordeling van kaarten

2. *Welke moeilijkheden komen we tegen bij de beoordeling van begrippenkaarten? Hoe gaan we met deze moeilijkheden om?*

Zoals uiteengezet in paragraaf 2.2.2, is het beoordelen van kaarten over het algemeen een lastige bezigheid, waarvoor verschillende strategieën bestaan. Bij het ontwerp van de pre-kaart opdracht is geprobeerd daar rekening mee te houden, door deze zoveel mogelijk af te kaderen, met behulp van een globale indeling en de samenvatting van de lesstof. Desalniettemin is het moeilijk, zo niet onmogelijk gebleken de kaarten te beoordelen. Een belangrijk aspect daarbij is dat de kaarten aan het einde van het lesuur over het algemeen incompleet waren. In deze paragraaf zal derhalve uiteindelijk geen beoordeling worden gepresenteerd, maar zal een aantal eigenschappen worden bediscussieerd, aan de hand van paragraaf 2.2.2.

Tellen Een eerste suggestie voor de beoordeling was om het aantal beweringen of verbanden te tellen en daarvoor punten toe te kennen, plus punten af te trekken voor onjuiste verbanden. Aan de ene kant zou deze aanpak in dit geval geschikt kunnen zijn, juist omdat de kaarten gebaseerd zijn op een aantal gegeven beweringen. Aan de andere kant zegt het kunnen overnemen van de kernachtige beweringen in begrippen en verbanden, en het rangschikken in een grotendeels gegeven opzet (zonder dat er veel nieuwe verbanden worden gelegd), waarschijnlijk niet zo heel over begrip. Daarnaast wordt het beoordelen zo een behoorlijk arbeidsintensief werk. Een eenvoudigere variant is het tellen van het aantal begrippen. In figuur 4.2 is ter indicatie het totaal aantal begrippen per kaart in een histogram weergegeven. Kijkend naar de twee extremen, kunnen we opmerken dat de kaart van het groepje dat iets meer dan 20 begrippen heeft genoteerd op het oog weliswaar “karig” te noemen is (figuur C.10), maar dat de kaart van het groepje met meer dan 60 begrippen niet persé veel beter is (figuur C.9), voornamelijk omdat er (vanwege tijdgebrek) vrijwel geen verbanden tussen de begrippen zijn gelegd.



Figuur 4.2: Histogram aantal begrippen pre-kaart

Daarnaast is een probleem bij het tellen van het aantal begrippen, dat het niet altijd eenduidig is of iets een (geldig) begrip of voorbeeld is, en meerdere begrippen vaak op één ‘kaartje’ zijn verzameld. In de categorie “straling” heb je bijvoorbeeld diverse stralingssoorten, die relatief gemakkelijk veel begrippen opleveren, zonder dat het op veel begrip duidt. In de categorie “licht” kun je rood, groen en blauw beschouwen als voorbeelden van de primaire kleuren, of tellen als afzonderlijke begrippen. In tabel 4.4 is in de onderste rij het gemiddeld aantal begrippen per categorie weergegeven. Het is duidelijk dat de eerste categorieën gemiddeld veel meer begrippen bevatten: deels omdat de leerlingen met die categorieën zijn begonnen, deels omdat ze sowieso gemakkelijk veel begrippen opleveren. Over het (extra) belonen van kruisverbanden kunnen we trouwens kort zijn: die komen in de kaarten van de leerlingen niet voor.

Structuur Een andere manier om tot een beoordeling te komen is te letten op de structuur. De hiërarchie van het eerste deel van de kaart was gegeven, en de leerlingen hebben zich daar over het algemeen netjes aan gehouden. Bijna iedereen heeft de zes gegeven begrippen (categorieën) aan het centrale begrip “licht” geknoopt. Slechts een enkeling heeft er een paar meer of minder. Het is natuurlijk interessanter om te kijken naar de structuur van de zes categorieën daaronder: zijn de begrippen geordend als een keten, de spaken in een wiel, of in een net (combinatie keten en spaak)?

Tabel 4.4: Eigenschappen pre-kaart ($N = 16$)

		straling	kleur	richting	zien	schaduw	lichtbron	totaal
structuur	leeg	1	0	0	2	4	5	12
	half	0	1	3	2	3	2	11
	keten	0	1	0	9	1	1	12
	spaak	6	4	6	1	5	5	27
	net	9	10	7	2	3	3	34
# begrippen		8,5	9,8	9,5	2,6	3,9	2,8	6,2

In tabel 4.4 is per categorie geteld hoeveel groepen een bepaalde structuur hebben gebruikt. Daarbij was de beoordeling vaak niet zo eenduidig: als er twee begrippen aan een categorie-begrip hangen, is dat dan een spaak of net-structuur? (In de analyse is gekozen voor het eerste.) Het ontbreken van (kruis)verbanden maakte die keuze vaak niet eenvoudiger. Wat de gegevens in de tabel in ieder geval laten zien, is dat de categorieën “straling”, “richting” en “kleur” vaak redelijk waren uitgewerkt, terwijl de andere helemaal leeg of maar half af waren. Dat hangt natuurlijk samen met de variatie in het gemiddelde aantal begrippen.

Kwalitatief Naast de kwantitatieve benadering die tot nu toe gehanteerd is, kan er ook kwalitatief het nodige over de kaarten worden gezegd. Een belangrijk vraag is bijvoorbeeld, of de kaarten fouten of andere misconcepties bevatten. Door het aanbieden van de samenvatting blijken echte fouten zeer spaarzaam gemaakt te worden; een voorbeeld is de kaart in figuur C.7, waarin wordt beweerd dat kleuren combineren tot zwart.

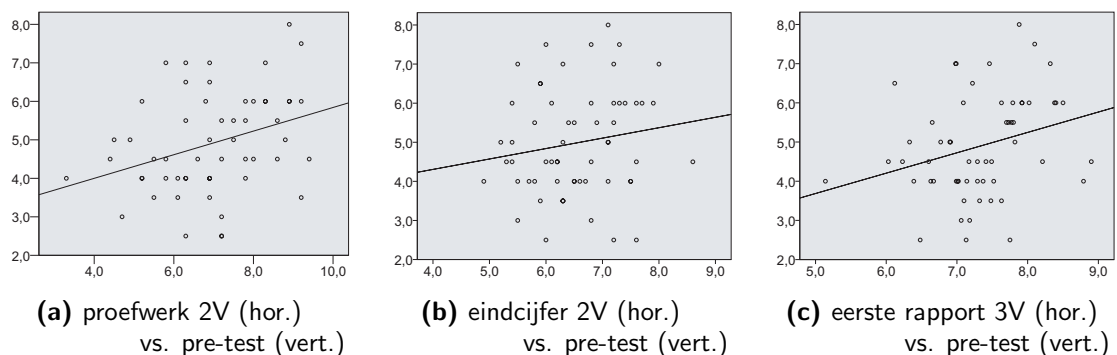
Het beoordelen van de post-kaart is een stuk eenvoudiger gebleken, hoewel er altijd twijfelgevallen blijven bestaan, waarin het niet duidelijk is wat de leerling precies bedoelt. Zo nu en dan waren misconcepties expliciet aan te wijzen, zoals bij de locatie van het spiegelbeeld, en de zichtbaarheid van een virtueel beeld.

Resumerend is het kwantitatief beoordelen van door lerende zelf opgestelde kaarten lastig gebleken, ook als de structuur grotendeels gegeven is. Verbanden zijn vaak ambigu of geheel afwezig, mogelijk omdat er niet voldoende tijd was. Fouten of misconcepties zijn in een zelfgemaakte kaart (op basis van gegeven beweringen) minder vaak terug te vinden dan in een aan te vullen kaart.

4.4 Test van begrip

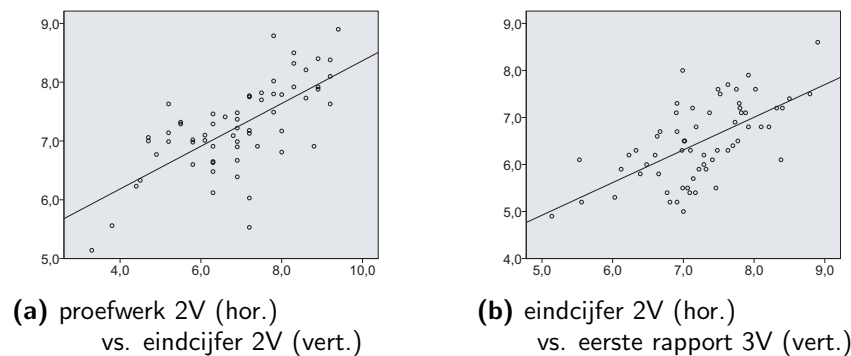
3. In hoeverre zijn begrippenkaarten een valide test van het begrip?

In eerste instantie kijken we niet naar begrippenkaarten, maar naar de resultaten van de testen. Als eerste vragen we ons af welk eerder behaald resultaat het cijfer voor de pre-test het best voorspelt. Daartoe zetten we in figuur 4.3 het proefwerkcijfer en eindcijfer in 2V, plus het cijfer over het eerste rapport in 3V uit tegen het cijfer voor de pre-test, inclusief een best-fit lineaire lijn. In alle gevallen is er een licht positieve correlatie: het kwadraat van Pearson's correlatiecoëfficiënt r^2 is respectievelijk 0.109, 0.082 en 0.025. Merk op dat is onderzocht of de correlatie met een deel van het testresultaat hoger zou zijn, bijvoorbeeld als alleen de 2V-vragen meegenomen zouden worden. Dat bleek nauwelijks het geval, mede omdat door het relatief kleine aantal vragen het testcijfer dan een discreet karakter kreeg. Een mogelijke verklaring voor de relatieve lage correlaties van de testcijfers met andere resultaten, is dat de testen op zijn minst voor een deel 'iets anders' meten dan de reguliere combinatie van (met name) proefwerken, overhoringen en practica.



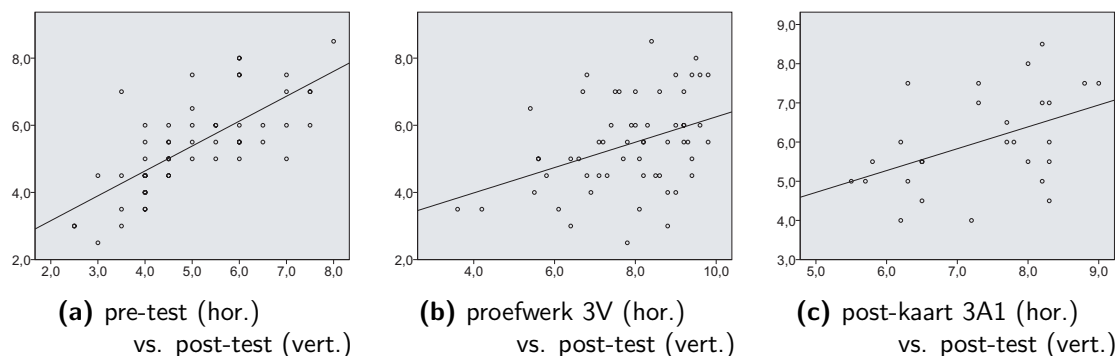
Figuur 4.3: Spreidingsdiagrammen diverse resultaten (horizontaal) vs. cijfer pre-test (verticaal)

Volgens figuur 4.4 is de correlatie tussen bijvoorbeeld proefwerk en eindcijfer 2V, of eindcijfer 2V en eerste rapport 3V een stuk hoger: de waarde van r^2 is respectievelijk 0.471 en 0.391. Het is dus niet zo dat leerlingen zo wisselvallig zijn, dat correlatie altijd ontbreekt.



Figuur 4.4: Spreidingsdiagrammen diverse resultaten

In figuur 4.5 is de samenhang tussen diverse resultaten en het cijfer voor de post-test weergegeven, waarbij r^2 respectievelijk 0.529, 0.152 en 0.213 is. In figuur 4.5a liggen meer punten bóven de denkbeeldige lijn $y = x$ dan eronder, dus de meeste leerlingen hebben de post-test beter gemaakt dan de pre-test. De correlatie van pre-test met post-test is relatief hoog, wat op zich niet verwonderlijk is, omdat de testen identiek zijn. Wederom is de correlatie van cijfers voor post-test en proefwerk laag, terwijl de correlatie van post-test met post-kaart een stuk hoger is. Dat versterkt de gedachte dat de test een ‘andere vorm’ van begrip meet, en bovendien is er aanwijzing dat de post-kaart dat ook doet. De correlatie van post-kaart met post-test is echter niet zo groot, dus een goede test van het begripsniveau lijkt die kaart ook niet te zijn. Overigens is figuur 4.5c gebaseerd op alleen de leerlingen in de experimentele groep, omdat de controle groep geen post-kaart heeft gemaakt.



Figuur 4.5: Spreidingsdiagrammen diverse resultaten (horizontaal) vs. cijfer post-test (verticaal)

Globale conclusie is dat zowel de testen als de post-kaart niet dezelfde aspecten van begrip meten als het proefwerk. De proefwerken draaien wellicht meer om reken- en constructievaardigheden, en de testen om het fundamentele begrip en (mis)concepties. De post-kaart lijkt vooralsnog geen van beide aspecten goed te kunnen meten.

Een volgende vraag die we onszelf stellen, is of er een verband is tussen het correct invullen van een zekere bewering in de post-kaart, en het goed beantwoorden van de bijbehorende vraag tijdens de post-test.

Om deze vraag te beantwoorden, is een zestal vragen uit de post-kaart geselecteerd, dat correspondeert met een vraag in de testen. Vervolgens is in tabel 4.5 de score op die post-kaart vraag (1 en 4 samengenomen, net als 7 en 10) uitgezet tegen de score op de bijbehorende post-test vraag (fout of goed). Behalve de aantallen zijn in de tabel ook de kolompercentages weergegeven. Tenslotte is met een χ^2 -test nagegaan of er een significant verband bestaat tussen het correct invullen van de bewering en het goed beantwoorden van de bijbehorende vraag.

Het blijkt dat leerlingen niet altijd de vertaalslag van kaart naar test, en vice versa kunnen maken. In tabel 4.5c is bijvoorbeeld te zien, dat van de 24 leerlingen die bij de post-kaart invulden dat een virtueel beeld door een lens heen te zien is, meer dan de helft de bijbehorende post-test vraag fout had. Bij de vraag over bolling en lenssterkte is dat zelfs de overgrote meerderheid. Aan de andere kant heeft volgens tabel 4.5e tweederde van de leerlingen de vraag over kleur en reflectie goed, maar weet slechts een derde daarvan ook in de begrippenkaart het juiste (kruis)verband in te vullen. Volgens de χ^2 -test is er alleen bij vraag over de locatie van het spiegelbeeld (significante) correlatie, en bij de vraag over kleur en reflectie nét niet. Bij de kwantitatieve geldigheid van de test kunnen overigens de nodige kanttekeningen worden geplaatst, met name bij de tabellen waar één van de vier cellen leeg is, omdat de steekproefgrootte niet zo heel groot is. In kwalitatief opzicht lijkt de relatie echter ook niet sterk. Hierbij zou een rol kunnen spelen dat de leerlingen hebben samengewerkt en het boek mochten gebruiken, waardoor beweringen zijn overgenomen die men niet écht snapte.

Hieruit kan met meer zekerheid worden geconcludeerd dat de (post-)kaart kennelijk geen goed instrument is om het begrip te meten, althans niet op de manier waarop deze nu is geïmplementeerd.

Tabel 4.5: Vergelijking resultaten post-kaart vs. post-test ($N = 27$)**(a)** zichtbaarheid van straling

post-test vraag 4		post-kaart vraag 1		
		1; 4	7; 10	
	fout		2 9%	2
	goed	4 100%	21 91%	25
		4	23	

(b) benodigdheid licht bij zien

post-test vraag 16		post-kaart vraag 2		
		1; 4	7; 10	
	fout	2 33%	3 14%	5
	goed	4 67%	18 86%	22
		6	21	

(c) zichtbaarheid van virtueel beeld

post-test vraag 12		post-kaart vraag 5		
		1; 4	7; 10	
	fout	3 100%	13 54%	16
	goed		11 46%	11
		3	24	

(d) bolling en lenssterkte

post-test vraag 11		post-kaart vraag 9		
		1; 4	7; 10	
	fout	13 87%	11 92%	24
	goed	2 13%	1 8%	3
		15	12	

(e) kleur door reflectie

post-test vraag 18		post-kaart vraag 14		
		1; 4	7; 10	
	fout	9 43%		9
	goed	12 57%	6 100%	18
		21	6	

(f) locatie spiegelbeeld

post-test vraag 7		post-kaart vraag 17		
		1; 4	7; 10	
	fout	6 60%	3 18%	9
	goed	4 40%	14 82%	18
		10	17	

(g) χ^2 -test

post-kaart vraag	1	2	5	9	14	17
post-test vraag	4	16	12	11	18	7
χ^2	0,38	1,12	2,32	0,17	3,86	5,08
P	0,540	0,289	0,128	0,681	0,050	0,024
< 0,05 ?	—	—	—	—	—	+

Verder kan worden gekeken of er een verband is tussen het aanwezig zijn van een zekere bewering in de pre-kaart, en het goed beantwoorden van de bijbehorende vraag tijdens de pre-test.

In tabel 4.6 is een soortgelijke analyse uitgevoerd als hiervoor, alleen dan met vragen uit de pre-test en het wel, niet of half aanwezig zijn van het antwoord in de pre-kaart. De weergegeven percentages zijn de rijpercentages. Bovendien is geen χ^2 -test uitgevoerd, vanwege het grote aantal lege cellen. Op het oog lijkt er geen verbanden te bestaan; het goed beantwoorden van een pre-test vraag biedt bijvoorbeeld geen enkele garantie dat de bijbehorende bewering terug te vinden is in de pre-kaart. Dat is op zich niet verrassend, gezien de incompleetheid van de meeste pre-kaarten. Het is ook niet zo dat een goed beantwoorde vraag incorrect in de pre-kaart terug te vinden is, maar het corresponderende gedeelte is vaak überhaupt niet of nauwelijks uitgewerkt.

Tabel 4.6: Vergelijking resultaten pre-kaart vs. pre-test ($N = 30$)

(a) zichtbaarheid van straling

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 4	fout				1 100%	1
	goed		3 10%	21 72%	5 17%	29

(b) maan als lichtbron

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 5	fout		5 38%	2 15%	6 46%	13
	goed		9 53%		8 47%	17

(c) locatie spiegelbeeld

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 7	fout		12 75%	3 19%	1 6%	16
	goed		12 86%	1 7%	1 7%	14

(d) reflectie door tafels

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 8	fout		8 36%		14 64%	22
	goed		2 25%		6 75%	8

(e) wit licht

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 10	fout		6 38%	9 56%	1 6%	16
	goed		3 21%	10 71%	1 7%	14

(f) benodigdheid licht bij zien

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 16	fout		3 38%		5 63%	8
	goed		3 14%		19 86%	22

(g) kleur door reflectie

			antwoord in pre-kaart			
			niet	half	wel	
pre-test vraag 18	fout		5 56%		4 44%	9
	goed		12 57%	2 10%	7 33%	21

Geconcludeerd wordt dat de pre-kaart eveneens geen goede meting van het begrip vormt. Merk op dat deze opdracht daar in eerste instantie ook niet voor bedoeld was.

4.5 Verandering van begrip

4. In welk opzicht verschilt de invloed van begrippenkaarten op diverse onderdelen van het begrip?

Om deze vraag te beantwoorden, vergelijken we eerst de klassen per test, vervolgens de testen per klas, en tenslotte de verbetering van de beide klassen, wat een soort combinatie van de eerste twee is.

In tabel 4.7 worden de twee klassen in detail vergeleken, voor pre en post-test afzonderlijk. Bij de pre-test doet de experimentele groep het bij twee vragen significant beter dan de controle groep: het verschil in gemiddeld cijfer is ruim twee punten. Deze vragen horen beide bij stof die in de tweede klas is behandeld: de ligging van het spiegelbeeld achter de spiegel, en de combinatie van rood en groen licht tot geel licht. Aangezien er in de lessenserie voor de pre-test alleen een introductie was, die in principe hetzelfde was voor de twee groepen, is dit waarschijnlijk veroorzaakt door een betere leeropbrengst vorig jaar. Dit wordt ondersteund door het feit dat de 2V-vragen significant beter zijn gemaakt. Ook de iets betere score op het gebied van “zien” wordt aan dit vermoeden toegeschreven.

Bij de post-test doet de experimentele groep het opnieuw beter op de twee genoemde vragen. Het verschil is nu zelfs ruim vier (!) punten, waarbij de controle groep het niet (veel) slechter doet, maar de experimentele groep zich ruim verbeterd heeft. Er zijn vier vragen meer waarop met (bijna) twee punten significant beter wordt gescoord. Deze gaan achtereenvolgens over de eindige snelheid van licht, de zichtbaarheid van een voorwerp in de spiegel, de zichtbaarheid van een virtueel beeld, en de breking van een lichtstraal. Van deze onderwerpen is alleen het virtueel beeld expliciet aan de orde geweest in de post-kaart. Over alle categorieën scoort de experimentele groep beter, bij de 2V-vragen, “reflectie” en “zien” is dat verschil significant. Het totale verschil in gemiddelde over alle vragen is bijna verdubbeld naar ruim één punt, en dat is een significante toename.

Tabel 4.7: Vergelijking resultaten pre en post-test 3A1 vs. 3A2

(a) pre-test ($N = 30$ vs. 29)						(b) post-test ($N = 31$ vs. 30)					
	$\hat{x}$ 3A1	$\hat{x}$ 3A2	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?		$\hat{x}$ 3A1	$\hat{x}$ 3A2	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
1	5,5	4,7	0,78	0,51	—	1	8,3	6,1	2,16	0,05	+
2	2,5	1,3	1,19	0,09	—	2	2,7	2,2	0,54	0,53	—
3	7,9	6,6	1,31	0,23	—	3	7,7	7,9	-0,22	0,83	—
4	9,7	8,8	0,94	0,16	—	4	9,4	9,7	-0,28	0,58	—
5	6,1	5,3	0,76	0,53	—	5	5,4	5,2	0,15	0,90	—
6	8,5	8,4	0,05	0,95	—	6	7,4	7,0	0,39	0,72	—
7	5,2	2,9	2,34	0,03	+	7	6,8	2,8	4,01	0,00	+
8	4,6	4,1	0,50	0,67	—	8	6,8	4,3	2,51	0,03	+
9	3,4	2,6	0,85	0,39	—	9	4,5	3,1	1,38	0,20	—
10	5,2	6,3	-1,08	0,37	—	10	4,2	4,6	-0,41	0,72	—
11	2,5	2,9	-0,36	0,70	—	11	1,9	2,2	-0,33	0,66	—
12	1,3	2,6	-1,25	0,09	—	12	4,2	2,2	1,99	0,04	+
13	4,0	3,8	0,21	0,85	—	13	5,9	3,4	2,54	0,03	+
14	6,7	6,9	-0,20	0,86	—	14	9,4	8,2	1,22	0,13	—
15	1,9	1,3	0,59	0,32	—	15	1,0	1,3	-0,30	0,33	—
16	7,6	7,5	0,08	0,94	—	16	8,3	8,5	-0,24	0,79	—
17	4,9	2,2	2,66	0,01	+	17	6,8	2,8	4,01	0,00	+
18	7,3	6,3	1,02	0,37	—	18	7,1	6,1	1,00	0,38	—
2V	6,2	5,1	1,06	0,01	+	2V	6,6	5,4	1,20	0,01	+
3V	3,5	4,1	-0,60	0,31	—	3V	5,2	4,2	0,96	0,05	—
ov.	4,2	4,1	0,13	0,81	—	ov.	4,9	3,9	1,00	0,06	—
kar.	6,7	5,9	0,84	0,11	—	kar.	6,8	6,4	0,46	0,36	—
ref.	4,4	3,2	1,23	0,05	—	ref.	6,0	3,4	2,63	0,00	+
bre.	3,6	3,9	-0,35	0,43	—	bre.	4,4	3,7	0,79	0,05	—
zien	6,6	5,3	1,26	0,04	+	zien	7,4	5,8	1,59	0,02	+
tot.	5,3	4,7	0,58	0,11	—	tot.	6,0	4,9	1,12	0,00	+

2V = 2VWO vragen, 3V = 3VWO vragen, ov.= overige vragen,
kar.=karakter van licht, ref.=reflectie, bre.=breking, tot.=totaal

Uit deze gegevens blijkt (opnieuw) dat de twee klassen weliswaar redelijk vergelijkbaar zijn, maar in de experimentele groep lijkt het begrip van de stof uit de tweede klas wat groter. Merk op dat de cijfers voor optica in de tweede klas in die groep ook significant hoger liggen. Na de lessenserie worden ook vragen over de stof uit de derde klas beter gemaakt in de experimentele groep.

Vervolgens vergelijken we voor beide klassen afzonderlijk de resultaten van de pre en post-test.

Zoals te zien in tabel 4.8, wordt in beide klassen op een aantal vragen in de post-test significant beter gescoord dan bij de pre-test. Voor de experimentele groep is de verbetering over het geheel genomen significant, terwijl dat bij de controle groep niet zo is. Uitgesplitst naar categorieën, is de verbetering in de experimentele groep over de 3V-vragen significant. Verder is er een duidelijke verbetering op het gebied van “reflectie” en “breking”.

Gekeken naar individuele vragen, is er in de experimentele groep verbetering op het gebied van snelheid van het licht, het zien van virtueel beeld, en het onscherp worden van een beeld bij verandering van de beeldafstand. Zoals eerder vermeld is het virtueel beeld expliciet aan de orde gekomen in de post-kaart, en daar ging men van een dikke onvoldoende naar een kleine onvoldoende. Het onscherp worden van het beeld is door de docent in de lessen bestempeld als de essentie van het hoofdstuk, en ook daarin ging men bijna drie punten vooruit. Overigens zou er bij een significantieniveau $\alpha = 0,10$ nog een vijftal significante verbeteringen zijn, en één verslechtering. In de controle groep is er verbetering bij de vraag over diffuse reflectie door muren, en de vereiste van licht bij zien; beide onderwerpen die voornamelijk vorig jaar aan de orde zijn geweest, dus daar is geen directe verklaring voor. In tegenstelling tot de experimentele groep zijn er bijna geen vragen die nét geen significante verbetering laten zien, en is het totale gemiddeld cijfer op een tiende nauwkeurig gelijk gebleven.

Tabel 4.8: Vergelijking resultaten 3A1 en 3A2 pre vs. post-test

(a) 3A1 ($N = 28$)						(b) 3A2 ($N = 28$)					
	post $\hat{x}$	pre $\hat{x}$	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?		post $\hat{x}$	pre $\hat{x}$	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
1	8,1	5,8	2,25	0,01	+	1	5,8	4,9	0,96	0,08	–
2	2,9	2,6	0,32	0,57	–	2	2,0	1,3	0,64	0,33	–
3	7,8	7,8	0,00	1,00	–	3	8,1	6,8	1,29	0,04	+
4	9,7	9,7	-	-	–	4	9,7	9,0	0,64	0,16	–
5	5,2	6,1	-0,96	0,18	–	5	5,2	5,5	-0,32	0,33	–
6	7,4	8,7	-1,29	0,16	–	6	6,8	8,4	-1,61	0,13	–
7	6,8	4,9	1,93	0,06	–	7	2,6	2,9	-0,32	0,57	–
8	6,5	4,9	1,61	0,10	–	8	4,2	4,2	0,00	1,00	–
9	4,9	3,3	1,61	0,10	–	9	2,9	2,6	0,32	0,66	–
10	3,9	4,9	-0,96	0,18	–	10	4,9	6,5	-1,61	0,17	–
11	2,0	2,6	-0,64	0,33	–	11	2,3	2,9	-0,64	0,49	–
12	4,2	1,3	2,89	0,00	+	12	2,3	2,6	-0,32	0,75	–
13	5,8	4,2	1,61	0,10	–	13	3,3	3,6	-0,32	0,66	–
14	9,4	6,5	2,89	0,00	+	14	8,1	7,1	0,96	0,18	–
15	1,0	2,0	-0,96	0,08	–	15	1,3	1,3	0,00	1,00	–
16	8,4	7,8	0,64	0,42	–	16	8,7	7,4	1,29	0,04	+
17	6,8	5,2	1,61	0,06	–	17	2,9	2,3	0,64	0,42	–
18	7,1	7,1	0,00	1,00	–	18	5,8	6,5	-0,64	0,33	–
2V	6,7	6,2	0,50	0,09	–	2V	5,4	5,2	0,17	0,31	–
3V	5,2	3,5	1,71	0,00	+	3V	4,2	4,2	0,00	1,00	–
ov.	4,7	4,2	0,47	0,22	–	ov.	3,8	4,1	-0,25	0,56	–
kar.	6,8	6,8	0,05	0,87	–	kar.	6,3	6,0	0,27	0,36	–
ref.	6,0	4,3	1,71	0,00	+	ref.	3,3	3,3	0,00	1,00	–
bre.	4,4	3,6	0,80	0,01	+	bre.	3,7	4,0	-0,32	0,42	–
zien	7,4	6,7	0,75	0,13	–	zien	5,8	5,4	0,43	0,29	–
tot.	6,0	5,3	0,70	0,00	+	tot.	4,8	4,8	0,05	0,76	–

2V = 2VWO vragen, 3V = 3VWO vragen, ov.= overige vragen,
kar.=karakter van licht, ref.=reflectie, bre.=breking, tot.=totaal

Uit deze gegevens blijkt dat de controle groep zich, op een tweetal individuele vragen na, op geen enkel gebied significant heeft verbeterd. De experimentele groep daarentegen heeft het over het algemeen wél beter gedaan, in het bijzonder op de 3V-vragen, en de gebieden “reflectie” en “breking”. Die stof is grotendeels (opnieuw) aan de orde gekomen in de derde klas.

Na het bekijken van zowel pre en post-test, als beide klassen afzonderlijk, combineren we nu de resultaten.

In tabel 4.9 vergelijken we de verbetering in testresultaten voor verschillende groepen. Dat doen we voor de overzichtelijkheid alleen voor groepen vragen, dus niet meer voor de individuele vragen.

Tabel 4.9: Vergelijking verbetering testresultaten 3A1 ($N = 28$) vs. 3A2 ($N = 28$)

	$\hat{x}$ 3A1	$\hat{x}$ 3A2	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
2V	0,5	0,2	0,32	0,32	–
3V	1,7	0,0	1,71	0,02	+
overig	0,5	-0,2	0,72	0,20	–
karakter	0,1	0,3	-0,21	0,62	–
reflectie	1,7	0,0	1,71	0,01	+
breking	0,8	-0,3	1,13	0,03	+
zien	0,8	0,4	0,32	0,61	–
totaal	0,7	0,1	0,64	0,02	+

In de tabel zien we wat de vorige vraag al deed vermoeden: de experimentele groep heeft zich significant meer verbeterd op de 3V-vragen, en de onderwerpen “reflectie” en “breking”.

5. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van geslacht?*
6. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van gemiddeld Natuurkunde-cijfer?*

De onderverdeling naar jongens en meisjes is natuurlijk eenvoudig, maar voor het gemiddeld cijfer zijn er verschillende opties. We kiezen hier voor een onderverdeling naar het eerste rapportcijfer uit 3V, om een aantal redenen. Niet alleen is dat cijfer gebaseerd op meerdere metingen (in tegenstelling tot proefwerkcijfers), de metingen zijn ook recent (in tegenstelling tot de cijfers uit 2V), en gaan bovendien alleen over Natuurkunde (in tegenstelling tot het eindcijfer 2V, dat ook een deel Scheikunde beslaat). Volgens de histogrammen in figuur 4.1 zijn de cijfers van het eerste rapport over het geheel én in beide klassen afzonderlijk ongeveer normaal verdeeld, volgens tabel 4.1 met een gemiddelde van 6,5. Aan beide kanten van het gemiddelde zitten ongeveer evenveel waarnemingen (leerlingen), aangezien de mediaan in beide groepen 6,4 blijkt te zijn.

De resultaten van de leerlingen met een ‘hoog’ en ‘laag’ cijfer worden vergeleken in tabel 4.10. Het blijkt dat de ‘betere’ leerlingen niet alleen significant beter scoren op het eerste rapport in 3V (waar ze op ingedeeld zijn), maar ook op practicum, proefwerk en eindrapport in 2V, evenals (nipt) op het proefwerk in 3V. Verrassend genoeg scoren ze iets lager op de twee practica, maar dat verschil is niet significant. Tenslotte scoren ze niet significant beter op op post-kaart, pre-test en post-test, al is het verschil bij laatstgenoemde wel het grootst.

Tabel 4.10: Vergelijking resultaten hoog vs. laag cijfer Natuurkunde

Onderdeel	N_H	N_L	$\hat{x}$ hoog	$\hat{x}$ laag	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
practicum 2V	30	30	7,0	6,8	0,15	0,41	+
proefwerk 2V	30	32	7,6	6,3	1,33	0,00	+
eindrapport 2V	31	32	7,6	6,9	0,79	0,00	+
practicum-1 3V	32	29	7,8	8,0	-0,12	0,16	–
practicum-2 3V	32	24	7,7	7,8	-0,10	0,44	–
proefwerk 3V	29	30	8,2	7,5	0,75	0,04	+
1e rapport 3V	32	33	7,2	5,8	1,39	0,00	+
pre-test	30	29	5,2	4,8	0,37	0,30	–
post-test	28	33	5,8	5,2	0,62	0,09	–
post-kaart	13	14	7,5	7,2	0,33	0,42	–

Conclusie is dat het rapportcijfer in het eerste kwartiel van 3V een goede manier lijkt om de leerlingen in te delen naar ‘niveau’.

Om de deelvragen te beantwoorden, doen we dezelfde vergelijking als bij de vorige deelvraag. De resultaten binnen de afzonderlijke klassen zijn voor mannen versus vrouwen opgenomen in tabel 4.11, en voor ‘goede’ leerlingen versus ‘minder goede’ leerlingen in tabel 4.12. Er zijn weinig significante verschillen; over het algemeen verbeteren jongens zich in de experimentele groep meer dan meisjes, terwijl dat in de controle groep niet zo is. In beide klassen verbeteren de ‘goede’ leerlingen zich over het algemeen, maar de ‘minder goede’ leerlingen doen dat niet significant minder. Alleen bij de 3V-vragen lijkt het verschil in de experimentele groep redelijk groot in het voordeel van de ‘goede’ leerlingen, maar dat verschil is niet significant.

Tabel 4.11: Vergelijking verbetering testresultaten Man vs. Vrouw

(a) 3A1 ($N = 14$ vs. 14)						(b) 3A2 ($N = 7$ vs. 21)					
	$\hat{x}$ M	$\hat{x}$ V	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?		$\hat{x}$ M	$\hat{x}$ V	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
2V	0,9	0,1	0,76	0,18	—	2V	0,1	0,2	-0,08	0,84	—
3V	2,1	1,3	0,86	0,32	—	3V	0,0	0,0	0,00	1,00	—
overig	0,8	0,2	0,64	0,40	—	overig	-0,3	-0,2	-0,11	0,91	—
karakter	1,0	-0,9	1,82	0,00	+	karakter	0,6	0,1	0,50	0,46	—
reflectie	2,6	0,9	1,71	0,12	—	reflectie	-0,4	0,1	-0,57	0,62	—
breking	0,9	0,8	0,11	0,86	—	breking	-0,4	-0,3	-0,14	0,87	—
zien	0,2	1,3	-1,07	0,27	—	zien	0,0	0,6	-0,57	0,30	—
totaal	1,1	0,3	0,75	0,05	+	totaal	0,0	0,1	-0,07	0,88	—

Tabel 4.12: Vergelijking verbetering testresultaten Hoog vs. Laag cijfer Natuurkunde

(a) 3A1 ($N = 14$ vs. 14)						(b) 3A2 ($N = 13$ vs. 15)					
	$\hat{x}$ hoog	$\hat{x}$ laag	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?		$\hat{x}$ hoog	$\hat{x}$ laag	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
2V	0,4	0,6	-0,18	0,76	—	2V	0,4	0,0	0,38	0,26	—
3V	2,4	1,1	1,29	0,13	—	3V	0,0	0,0	0,00	1,00	—
ov.	0,0	1,0	-0,96	0,20	—	ov.	-0,2	-0,3	0,13	0,88	—
kar.	0,2	-0,1	0,32	0,62	—	kar.	0,2	0,3	-0,07	0,91	—
ref.	1,5	1,9	-0,43	0,70	—	ref.	0,2	-0,2	0,43	0,61	—
bre.	0,9	0,8	0,11	0,86	—	bre.	-0,3	-0,3	-0,05	0,95	—
zien	0,2	1,3	-1,07	0,27	—	zien	1,2	-0,2	1,35	0,08	—
tot.	0,6	0,8	-0,11	0,78	—	tot.	0,2	-0,1	0,26	0,46	—

ov.= overig, kar.=karakter van licht, ref.=reflectie, bre.=breking, tot.=totaal

Conclusie is dat er geen opmerkelijke verschillen in verbetering van testresultaten zijn tussen zowel jongens en meisjes, als tussen leerlingen die ‘goed’ en ‘minder goed’ in Natuurkunde zijn. Er is dus geen bewijs dat begrippenkaarten voor de ene categorie effectiever zijn dan voor de andere.

Tot nu toe is er alleen gekeken naar ‘goede’ en ‘foute’ antwoorden. Het is interessant om ook kort te beschouwen welke antwoorden gegeven werden.

In tabel 4.13 is één en ander samengevat. De percentages die horen bij de juiste antwoorden zijn dikgedrukt. Het valt bijvoorbeeld op dat bij vraag 13 in de pre-test (breking van een lichtstraal), in beide klassen ongeveer evenveel leerlingen het goede antwoord kiezen, maar dat in de experimentele groep veel meer leerlingen voor het foute antwoord b kiezen (lichtstraal rechtdoor). Bij het vergelijken van vraag 17 in de pre en post-test (combineren van rood en groen licht) valt in de controle groep op dat het aantal goede antwoorden licht stijgt, maar dat er ook een grote verschuiving is in de verdeling van de foute antwoorden. Er is hier en daar dus differentiatie in de foute antwoorden.

Daarnaast is te zien welke misconcepties aanwezig zijn en hardnekkig blijven: zo kiest in beide testen (ongeveer) een meerderheid voor het verkeerde antwoord bij vraag 5 (de maan als lichtbron), vraag 9 (diffuse reflectie door tafels) en vraag 10 (het aantal kleuren in wit licht). De score op vraag 15 (vorm van diafragma en beeld) is helemaal dramatisch, maar dat wordt verklaard door het feit dat dit simpelweg nog niet (expliciet) aan de orde is geweest.

Tabel 4.13: Antwoorden pre en post-test, 3A1 en 3A2 (percentages, dikgedrukt=correct)

(a) pre 3A1 ($N = 30$)					(b) pre 3A2 ($N = 29$)				
	a	b	c	d		a	b	c	d
1	50	40	10		1	41	52	7	
2	10	73	17		2	10	86	3	
3	7	77	17		3	10	62	28	
4	3	97	0		4	14	86	0	
5	43	0	57		5	48	3	48	
6	17	0	83		6	14	3	83	
7	20	47	33		7	31	21	48	
8	40	23	0	37	8	34	31	0	34
9	27	53	20		9	17	62	21	
10	0	53	47		10	7	34	59	
11	33	50	17		11	7	72	21	
12	80	3	17		12	55	17	28	
13	60	7	33		13	45	24	31	
14	63	10	27		14	66	7	28	
15	10	7	83		15	3	10	86	
16	23	73	3		16	24	72	3	
17	3	43	23	30	17	3	14	24	59
18	10	70	20		18	0	59	41	

(c) post 3A1 ($N = 31$)					(d) post 3A2 ($N = 30$)				
	a	b	c	d		a	b	c	d
1	81	13	6		1	57	40	3	
2	6	74	19		2	3	83	13	
3	13	74	13		3	17	77	7	
4	6	94	0		4	3	97	0	
5	45	6	48		5	50	3	47	
6	26	3	71		6	33	0	67	
7	19	65	16		7	30	20	50	
8	65	16	0	19	8	37	27	0	37
9	39	35	26		9	23	57	20	
10	0	65	35		10	0	60	40	
11	19	71	10		11	0	87	13	
12	48	35	16		12	70	13	17	
13	39	6	55		13	57	17	27	
14	94	0	6		14	80	3	17	
15	3	3	94		15	3	3	93	
16	13	84	3		16	17	83	0	
17	3	65	13	19	17	27	20	13	40
18	0	68	32		18	0	57	43	

Globale conclusie is dat misconcepties op alle gebieden, in beide testen en beide klassen veelvuldig aanwezig zijn en blijven. Je zou kunnen zeggen dat ze tamelijk divers en hardnekkig zijn.

4.6 Attitude van leerlingen

7. Wat is de attitude van leerlingen ten aanzien van begrippenkaarten?

In tabel 4.14 is te zien, dat de experimentele groep de begrippenkaarten iets minder leuk vindt dan lesonderdelen als uitleg, stencils en sommen. Practica worden zelfs (op een schaal van één tot vier) bijna met een punt meer gewaardeerd. Ook wat nut betreft komen begrippenkaarten er wat karig vanaf. Men lijkt de kaarten liever te willen gebruiken als samenvatting, aan het eind van de lessenserie, dan als herhaling vooraf of ‘gids’ tijdens de lessen. Des te opvallender is het dat de reacties op de open vraag “Wat vind je van begrippenkaarten?”, die zijn verzameld in tabel D.11, voor het overgrote deel positief tot zeer positief zijn. De woorden “handig” en “samenvatting” worden veelvuldig gebruikt, hoewel leerlingen daar mogelijk wat in gestuurd kunnen zijn door de voorgaande vraag.

Tabel 4.14: Vergelijking attitudes (schaal 1-4) 3A1 ($N = 30$) vs. 3A2 ($N = 30$)

	$\hat{x}$ 3A1	$\hat{x}$ 3A2	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
Na leuk	3,0	3,4	-0,33	0,13	—
Na moeilijk	2,4	2,7	-0,30	0,22	—
optica leuk	2,8	2,5	0,30	0,08	—
optica moeilijk	2,6	2,6	-0,03	0,87	—
uitleg leuk	2,7	2,6	0,07	0,73	—
stencils leuk	2,6	2,9	-0,33	0,03	+
sommen leuk	2,6	2,3	0,33	0,13	—
practica leuk	3,3	3,5	-0,17	0,25	—
kaarten leuk	2,4	-	-	-	-
uitleg nuttig	3,4	3,4	-0,03	0,82	—
stencils nuttig	3,1	3,2	-0,13	0,36	—
sommen nuttig	3,3	3,3	-0,03	0,84	—
practica nuttig	3,3	3,4	-0,10	0,58	—
kaarten nuttig	2,9	-	-	-	-
kaarten begin	2,8	-	-	-	-
kaarten tijdens	2,8	-	-	-	-
kaarten eind	3,4	-	-	-	-

Globale conclusie is dat de leerlingen in woorden zeer positief zijn over het werken met kaarten, en in cijfers matig positief. Ze geven aan kaarten voornamelijk als samenvatting, achteraf te willen gebruiken.

Daarnaast is het interessant de attitudes van de beide klassen en geslachten kort te vergelijken. Merk op dat alleen na afloop van de lessenserie de attitude is gemeten, en dat een eventueel verschil dus niets zegt over de invloed van begrippenkaarten.

Op basis van tabel 4.14 lijkt er weinig reden om te concluderen dat de attitude van leerlingen in de twee klassen ten opzichte van Natuurkunde, optica of bepaalde lesonderdelen verschilt. Weliswaar is de controle groep statistisch significant positiever over de stencils, gezien het kleine absolute verschil moet daar weinig waarde aan worden gehecht.

Tabel 4.15 laat een zelfde beeld zien, als mannen met vrouwen worden vergeleken. Ook hier is er een (klein) significant verschil op de leukheid van stencils, maar lijkt er weinig reden om te concluderen dat er relevante verschillen zijn. Merk op dat de rijen in de tabel die over kaarten gaan, op minder leerlingen zijn gebaseerd, omdat de leerlingen in de controle groep daarover geen vragen hebben beantwoord. Meisjes lijken Natuurkunde over het algemeen wat leuker vinden, maar er zijn geen relevante significante verschillen gevonden.

Tabel 4.15: Vergelijking attitudes (schaal 1-4) Man ($N = 22$; 14) vs. Vrouw ($N = 39$; 16)

	$\hat{x}$ M	$\hat{x}$ V	$\Delta\hat{x}$	P	< 0,05 ?
Na leuk	2,9	3,4	-0,45	0,06	—
Na moeilijk	2,5	2,5	-0,01	0,96	—
optica leuk	2,5	2,6	-0,10	0,60	—
optica moeilijk	2,7	2,6	0,09	0,66	—
uitleg leuk	2,6	2,7	-0,06	0,77	—
stencils leuk	2,5	2,8	-0,32	0,04	+
sommen leuk	2,4	2,4	-0,03	0,90	—
practica leuk	3,4	3,5	-0,10	0,49	—
kaarten leuk	2,4	2,4	-0,08	0,78	—
uitleg nuttig	3,5	3,4	0,14	0,33	—
stencils nuttig	3,0	3,2	-0,13	0,43	—
sommen nuttig	3,5	3,2	0,28	0,09	—
practica nuttig	3,4	3,3	0,06	0,76	—
kaarten nuttig	3,0	2,8	0,25	0,45	—
kaarten begin	2,9	2,7	0,24	0,43	—
kaarten tijdens	2,9	2,7	0,24	0,50	—
kaarten eind	3,6	3,1	0,52	0,15	—

Over het geheel genomen zijn er qua attitudes geen opvallende verschillen tussen klassen of geslachten.

4.7 Kanttekeningen

Bij de opzet van het onderzoek, hoe zorgvuldig doordacht ook, en de uitvoering ervan kunnen diverse kanttekeningen worden geplaatst.

Het belangrijkste nadeel van het onderzoek is het incidentele karakter ervan. De leerlingen hebben voor het eerst kennis gemaakt met begrippenkaarten. Je kunt stellen dat ze het algemene idee snel hebben opgepikt, en al bij de eerste poging zinvolle kaarten hebben geproduceerd. Als (groeps)activiteit vormde het ook een welkome afwisseling, waar leerlingen enthousiast mee bezig waren. Uit bestudering van de theorie blijkt echter dat de échte kracht van begrippenkaarten zou moeten rusten op een structurele toepassing, waarbij er sprake is van een betekenisvol leerproces. De lerende moet dan de keuze maken om betekenisvol (en niet machinaal) te leren, en nieuwe kennis moet aangeboden worden op een manier, met voorbeelden en taalgebruik die bij de voorkennis past. In eerste instantie was het ook de bedoeling de leerlingen tijdens de lessenserie regelmatig de kaart te laten bijwerken, maar dat bleek niet haalbaar. Er waren al veel diverse lesactiviteiten, zoals practica, stencils, demonstratieproeven en sommen uit het boek. De werkbelasting voor leerlingen was daardoor simpelweg al redelijk hoog.

Ten tweede is het onderwerp optica wellicht niet het meest geschikt. Aan de ene kant hebben we gezien dat het vakgebied verbonden is met een scala aan misconcepties, en daarmee een dankbaar onderwerp voor begripsvragen vormt. Aan de andere kant draaide het in de lessenserie en het afsluitende proefwerk echter vooral om reken- en constructievaardigheden: berekeningen met de lenzenformule, terugkaatsing door spiegels en beeldvorming door lenzen. Hoewel veel van de kennis die aan bod kwam met de begrippenkaarten in het hoofdstuk terug te vinden was, kwam deze niet altijd terug in lessen en proefwerk.

Andere kanttekeningen hebben meer te maken met de implementatie. Zo was de post-test bij voorkeur afgenomen vlak na het proefwerk, zodat de (meeste) leerlingen de stof uitgebreid hadden bestudeerd. Dat bleek qua planning helaas niet mogelijk. Verder hebben we gezien dat er niet altijd veel correlatie was tussen antwoorden bij kaarten en testen, en dat is mogelijk mede veroorzaakt door het aspect van samenwerking. Hoewel dat motiverend leek te werken en juist een stimulans kan vormen bij het betekenisvol leren, zorgt overleg er ook voor dat leerlingen dingen invullen die ze zelf misschien niet helemaal begrijpen. Met name bij de post-kaart zou dat wel eens een rol hebben kunnen spelen. Tenslotte was de opdracht met de pre-kaart wat te omvangrijk: leerlingen hebben een aardig begin kunnen maken, maar de kaarten waren dermate incompleet, dat de beoordeling erg lastig werd.

4.8 Reactie docent

Tegen het eind van het onderzoek is aan de reguliere docent (Altena) gevraagd wat hij vond van het feit dat in de controle groep het gemiddelde cijfer voor de post-test exact hetzelfde was als voor de pre-test, en dat er weinig verband leek te zijn tussen het cijfer voor de testen en de cijfer voor het proefwerk.

Zijn reactie was ongeveer als volgt: “Ik ben bang dat de leerlingen het onderwerp ‘licht’ nogal mechanisch bestudeerd hebben, dus de berekeningen wel kunnen, maar niet echt snappen wat ze doen. Het hoofdstuk in de tweede klas gaat over allerlei begrippen die niet (te weinig?) zijn teruggekomen in de derde klas. Het heeft mij best gestoord dat leerlingen hoge cijfers halen (goed kunnen rekenen), maar er eigenlijk weinig van snappen, c.q. niet weten waar ze mee bezig zijn.”

Hij bevestigt dus het eerder uitgesproken vermoeden dat het proefwerk voornamelijk draait om vaardigheden, en niet om concepties. Dat lijkt echter geen bewuste keuze te zijn, maar eerder een ingesleten gewoonte, waar hij zich mede door het onderzoek bewust van geworden is.

5. Conclusies en aanbevelingen

In dit laatste hoofdstuk komen de belangrijkste conclusies aan de orde, die uit het beschreven onderzoek kunnen worden getrokken, en worden diverse aanbevelingen voor de (theoretische) onderzoeker gegeven. Tenslotte is er aandacht voor de implicaties van het onderzoek voor de docent, die middenin de praktijk staat.

5.1 Conclusies

Het doel van dit onderzoek is na te gaan op welke manier begrippenkaarten kunnen worden ingezet tijdens een les of lessenserie. De hoofdvraag die is geformuleerd luidt:

Hoe kan het gebruik van begrippenkaarten het begrip van leerlingen in 3VWO op het gebied van optica verbeteren?

Het globale antwoord is dat het gebruik van begrippenkaarten gepaard is gegaan met significant betere resultaten op zowel afsluitende test als proefwerk. Eerstgenoemde lijkt met name feitelijke kennis en (mis)concepties te testen, laatstgenoemde legt meer nadruk op reken- en constructievaardigheden; beide bleken in de experimentele groep uiteindelijk dus beter ontwikkeld te zijn dan de controle groep. Dat verschil was het grootst op vragen over lesstof die aan de orde was gekomen in de derde klas. Merk op dat de controle groep in omvang, samenstelling en rapportcijfer vooraf redelijk vergelijkbaar was met de experimentele groep.

Er kan echter geen direct causaal verband worden gelegd tussen de activiteiten met begrippenkaarten enerzijds, en de verbeterde resultaten anderzijds. Hiervoor is een aantal redenen aan te wijzen. Allereerst is het gebruik van de kaarten incidenteel geweest, aan begin en eind van de lessenserie, terwijl de achterliggende theorie van het betekenisvol leren uitgaat van een structurele toepassing. Ten tweede zijn de groepen wel enigszins, maar niet volledig vergelijkbaar. Zo behaalde de experimentele groep een jaar eerder ook significant betere resultaten op het onderwerp optica, en leek deze tijdens het experiment wat beter gemotiveerd.

Overigens is zijdelings ook gebleken dat de kaarten voor een docent nuttig kunnen zijn bij organisatie vooraf, bijvoorbeeld om een lessenserie te ontwikkelen en te plannen. Daarnaast heeft het onderzoek mede aan het licht gebracht, dat de score op het proefwerk niet zo heel veel zegt over het al dan niet bestaan van misconcepties.

Het onderzoek heeft zich beperkt tot een derde klas op het gebied van optica. Mogelijk is het positieve effect van kaarten groter op een ander gebied, dat minder om reken- en constructievaardigheden draait, maar meer om kennis en concepties. Daarnaast zijn leerlingen in hogere klassen wellicht verbaal wat sterker, zodat het voor leerlingen eenvoudiger is duidelijke begrippen en verbanden te formuleren, wat bijvoorbeeld beoordeling beter mogelijk maakt.

Na de hoofdvraag zijn een aantal deelvragen geformuleerd, die op de volgende pagina zullen worden beantwoord.

1. *Welke problemen ondervinden beginners bij het gebruik van begrippenkaarten? Hoe ondervangen we deze problemen?*

Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat er een groot aantal mogelijke doelen en manieren voor het gebruik van begrippenkaarten is. In het experiment is, na een instructie van een halve les, een tweetal varianten uitgeprobeerd: het door de leerlingen maken van een kaart met behulp van een samenvatting en een globale structuur, en het aanvullen van enkele begrippen en verbanden in een door een expert opgestelde kaart. Gesteld kan worden dat beginners niet op onoverkomelijke problemen zijn gestuit bij het maken van hun eerste kaarten, maar dat de duidelijkheid vaak te wensen overliet. Begrippen en verbindingswoorden werden niet altijd goed gekozen, en de samenvatting leek daar weinig bij te helpen, omdat men dan veelal vast bleef houden aan een bepaalde woordkeus. Bij het aanvullen van de kaart was er minder onduidelijkheid.

2. *Welke moeilijkheden komen we tegen bij de beoordeling van begrippenkaarten? Hoe gaan we met deze moeilijkheden om?*

Het beoordelen van de kaarten is lastig gebleken, met name bij de zelfgemaakte kaarten, maar ook bij de aan te vullen kaarten. Zowel het tellen van begrippen, het duiden van de structuur, als het vinden van fouten bleek niet eenvoudig, zo niet onmogelijk. Bij de zelfgemaakte kaart waren, mede door het gebruik van de samenvatting, echte fouten of misconcepties zeer spaarzaam. Vaker waren verbanden onduidelijk, of waren ze onder anderen door tijdgebrek volledig afwezig. Bij de aan te vullen kaart was het beoordelen gemakkelijker en waren ook vaker misconcepties te ontdekken, maar waren de antwoorden eveneens niet altijd eenduidig.

3. *In hoeverre zijn begrippenkaarten een valide test van het begrip?*

De score voor de aangevulde kaart had een lage correlatie met die van zowel proefwerk als afsluitende test. Bovendien bleek zowel aan het begin als het eind van de lessenserie, dat het aanwezig zijn of invullen van een juiste bewering in de kaart, lang niet altijd samenging met het juist beantwoorden van een bijbehorende testvraag, en vice versa. De verstrekte opdrachten met kaarten vormden dus geen goede test van het begrip.

4. *In welk opzicht verschilt de invloed van begrippenkaarten op diverse onderdelen van het begrip?*

Zoals gezegd heeft de experimentele groep zich met name (meer) verbeterd op het gebied van stof die tijdens de lessenserie aan bod is gekomen, te weten “reflectie” en “breking”. De vaardigheden die onder deze onderwerpen vallen, speelden in het proefwerk een grote rol. Er is echter geen bewijs voor een causaal verband. Daarnaast was opvallend dat misconcepties op alle gebieden, in testen voor- en achteraf, en in beide klassen veelvuldig aanwezig waren en bleven. Je zou kunnen zeggen dat ze divers en hardnekkig zijn.

5. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip afhankelijk van geslacht?*
6. *Is de invloed van begrippenkaarten op begrip van gemiddeld Natuurkunde-cijfer?*

Het rapportcijfer in het eerste kwartiel van 3V leek een goede manier om de leerlingen in te delen naar ‘niveau’. Er waren geen opmerkelijke verschillen in verbetering van testresultaten tussen zowel jongens en meisjes, als leerlingen die ‘goed’ en ‘minder goed’ in Natuurkunde zijn. Er is dus op grond van dit onderzoek geen bewijs dat begrippenkaarten voor de ene categorie effectiever zijn dan voor de andere. Overigens verschillen de resultaten op rapporten, proefwerken en testen licht in het voordeel van de jongens.

7. *Wat is de attitude van leerlingen ten aanzien van begrippenkaarten?*

In woorden waren leerlingen positief over het werken met begrippenkaarten, met name over het gebruik als samenvatting aan het eind van een lessenserie, en in mindere mate over het expliciteren van voorkennis bij aanvang van de lessenserie. De uitgedeelde cijfers waren voor kaarten iets lager dan voor lesonderdelen als practica en stencils. Over het geheel genomen waren er qua attitudes geen opvallende verschillen tussen klassen of geslachten.

5.2 Aanbevelingen voor onderzoekers

Het uitgevoerde onderzoek geeft aanleiding tot diverse suggesties voor toekomstig onderzoek.

Een belangrijke aanvulling op het onderzoek is het gebruik van begrippenkaarten op een meer structurele manier. De kaarten zouden dan gedurende de lessenserie vaker moeten worden gebruikt, bijvoorbeeld in plaats van lesactiviteiten als practica, stencils en sommen. Bovendien zouden ze explicieter aan bod moeten komen, bijvoorbeeld door leerlingen bestudeerde stof aan het eind van iedere les te laten plaatsen in een kaart, die gedurende de lessenserie wordt ontwikkeld. In dat geval zou er, meer dan bij het incidentele gebruik, sprake kunnen zijn van een betekenisvol leerproces. Wellicht is het dan goed om voor een andere vakgebied te kiezen, waarin feitelijke kennis en concepties centraal staan, in plaats van reken- en constructievaardigheden. In een dergelijk onderzoek zou een causaal verband tussen het werken met kaarten en toetsresultaten wellicht wél aangetoond kunnen worden.

Tijdens het maken van de kaarten in dit onderzoek zijn de leerlingen alleen oppervlakkig geobserveerd. Het zou interessant zijn om dat in meer detail te doen, om een duidelijker beeld te krijgen van wat leerlingen het moeilijkst vinden aan het maken van een kaart. Bij de zelfgemaakte kaart hadden veel leerlingen een kaart die incompleet leek, maar het is niet vastgesteld of dat kwam doordat leerlingen niet doorwerkten, men het kiezen van begrippen en/of verbanden lastig vond, dat er veel inhoudelijke discussies ontstonden, of dat men gewoon vond dat alleen een relatief lege kaart nog overzichtelijk was. Een observatie, eventueel aangevuld met interactie door de docent in de vorm van (kritische) vragen, zou daarover meer duidelijkheid kunnen verschaffen.

Tenslotte is de CmapTools software in de theorie wel beschreven, en bij het maken van materiaal voor het onderzoek en dit rapport gebruikt, maar in het experiment niet toegepast. Uit praktische overwegingen hebben leerlingen gebruik gemaakt van pen, papier en Post-it's. Het is nuttig om te weten, hoe de leerlingen het gebruik van computers vinden, en of de resultaten wat kaarten betreft anders zouden zijn. Omdat de software de mogelijkheid biedt om de handelingen van leerlingen op te nemen en later voor analyse af te spelen, of real-time commentaar te geven, zouden observatie en interactie daarmee ook eenvoudiger kunnen worden.

5.3 Implicaties voor docenten

Voor de docent rest uiteindelijk de eenvoudige vraag: “Hoe kan ik begrippenkaarten nu het beste in mijn lessen toepassen? Wat zijn de mogelijkheden, en waar moet ik op letten?”

Begrippenkaarten vormen een veelzijdig hulpmiddel. De implementatie van een opdracht hangt in grote mate af van het doel dat je ermee beoogt: herhaling, verwerven van nieuwe kennis, bieden van structuur, toetsing, enzovoort. Daarnaast geldt voor zowel docent als leerling dat “oefening baart kunst”. Met meer ervaring maak je niet alleen betere kaarten, maar kun je anderen daar ook beter in steunen, zowel tijdens ontwerp als uitvoering van de opdracht. Als docent kun je kaarten incidenteel of structureel aanbieden aan leerlingen, maar er ook zelf gebruik van maken.

Om met het laatste te beginnen: een begrippenkaart kan voor een docent nuttig zijn bij het voorbereiden van een les of lessenserie. Zeker als beginnend docent kun je nieuwe inzichten of overzichten krijgen, bij het ontwikkelen van eigen materiaal of het gebruik van bestaande middelen. Voor leerlingen kunnen begrippenkaarten een leuke en leerzame afwisseling vormen. Met een instructie van een half uur, en eventueel het maken van een niet-Natuurkundige oefenkaart, blijken zowel goede leerlingen als zwakkere leerlingen al snel zinvolle kaarten te kunnen maken. De kaarten stimuleren interactie, in een groepsopdracht tussen leerlingen onderling, en in andere gevallen tussen leerling en docent. In alle gevallen is het een toegevoegde waarde, als je leerlingen kunt observeren en waar nodig bijsturen. Meting van begrip en toetsing met kaarten is in eerste instantie lastig gebleken, maar hier liggen wellicht wel mogelijkheden. Zeker als de kaart beoordeeld moet gaan worden, is het zaak de opdracht goed af te kaderen, en vooraf zelf de kaart te maken, om te ontdekken tegen welke problemen leerlingen aan kunnen lopen. Qua implementatie kun je gebruik maken van software als CmapTools, maar een groot vel papier met Post-it's blijkt ook prima te werken. Door het structureel toepassen van kaarten kan het leerproces voor de leerling meer betekenisvol worden, maar gezien de behoorlijk complexe onderbouwing van deze theorie, is dat geen vanzelfsprekendheid.

Literatuur

- Ahlberg, M. (2004). Varieties of concept mapping. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (red.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping*. Pamplona, Spain.
- Arons, A. B. (1997). *Teaching introductory physics*. John Wiley & Sons.
- Ausubel, D. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. New York: Grune & Stratton.
- Breetvelt, I. (2005). *Concept maps als hulpmiddel bij kennisrepresentatie; docentenhandleiding voor het gebruik van concept maps in het onderwijs*. SCO-Kohnstamm Instituut, Universiteit van Amsterdam.
- Briggs, G., Shamma, D. A., Cañas, A. J., Carff, R., Scargle, J. & Novak, J. (2004). Concept maps applied to Mars exploration public outreach. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (red.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping*. Pamplona, Spain.
- Carelsen, F. & Kramers-Pals, H. (2000). Begrippen in beeld; concept mapping in de klas. *NVOX*, 24(3).
- Cañas, A. J., Coffey, J. W., Carnot, M. J., Feltovich, P., Hoffman, R. R., Feltovich, J. et al. (2003). *A summary of literature pertaining to the use of concept mapping techniques and technologies for education and performance support* (Technical report prepared for the US Navy Chief of Naval Education and Teaching). Insititute for Human and Machine Cognition. Beschikbaar op <http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/ConceptMapLitReview/IHMC%20Literature%20Review%20on%20Concept%20Mapping.pdf>
- Cañas, A. J. & Novak, J. D. (2008). Next step: consolidating the Cmappers community. In A. J. Cañas, P. Reiska, M. Ahlberg & J. D. Novak (red.), *Concept mapping: Connecting educators. Proceedings of the third international conference on concept mapping*. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland.
- Chin, C. & Brown, D. E. (2000). Learning in science: a comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109–138.
- Daley, B. J., Conceição, S., Mina, L., Altman, B. A., Baldor, M. & Brown, J. (2008). Advancing concept map research: a review of 2004 and 2006 CMC research. In A. J. Cañas, P. Reiska, M. Ahlberg & J. D. Novak (red.), *Concept mapping: Connecting educators. Proceedings of the third international conference on concept mapping*. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland.
- de Bruijn, I. (2008). *Het nieuwe leren: een poging tot nuanceren*. Beschikbaar op <http://www.utwente.nl/elan/onderzoek/publicaties/elandoc/2008/>
- Dijsselbloem, J. R. V. A., Bochove, B. J. van, Ham, B. van der, Bosma, M., Dibi, T., Ortega-Martijn, C. A. et al. (2008). *Parlementair onderzoek onderwijsvernieuwingen*. Beschikbaar op <http://www.tweedekamer.nl/kamerleden/commissies/TC0/sub/>
- Edwards, J. & Fraser, K. (1983). Concept maps as reflectors of conceptual understanding. *Research in Science Education*, 13(1), 19–26.
- Galili, I. & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57–88.
- Goldberg, F. M. & McDermott, L. C. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472–480.
- Goldberg, F. M. & McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108–119.
- Kennisbank natuurkunde*. (2008). Ruud de Moor Centrum, Open Universiteit. Beschikbaar op <http://content-e.ou.nl/>
- Kinchin, I. M. & Hay, D. B. (2000). How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual developmen. *Educational Research*, 42(1), 43–57.
- Moore, D. S. & McCabe, G. P. (2001). *Statistiek in de praktijk* (3e druk). Academic Service.

- Natuur- en scheikunde overal 2 havo/vwo* (3e druk). (2005). EPN.
- Natuurkunde overal 3 vwo* (4e druk). (2007). EPN.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science*, 19(1), 29–52.
- Novak, J. D. (1998). *Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Novak, J. D. & Cañas, A. J. (2004). Building on new constructivist ideas and CmapTools to create a new model for education. In A. J. Cañas, J. D. Novak & F. M. González (red.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping*. Pamplona, Spain.
- Novak, J. D. & Cañas, A. J. (2006a). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization Journal*, 5(3), 175–184.
- Novak, J. D. & Cañas, A. J. (2006b). *The theory underlying concept maps and how to construct them* (Technical Report IHMC CmapTools 2006-01). Florida Institute for Human and Machine Cognition. Beschikbaar op <http://cmaps.ihmc.us/Publications/ResearchPapers/TheoryUnderlyingConceptMaps.pdf>
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge University Press.
- Novak, J. D. & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28(1), 117–153.
- Odom, A. L. & Kelly, P. V. (2001). Integrating concept mapping and the learning cycle to teach diffusion and osmosis concepts to high school biology students. *International Journal of Science Education*, 85(6), 615–635.
- Piaget, J. (1926). *The language and thought of the child*. New York: Harcourt Brace.
- Ruiz-Primo, M. A., Schultz, S. E., Li, M. & Shavelson, R. J. (2001). Comparison of the reliability and validity of scores from two concept-mapping techniques. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 260–278.
- Safayeni, F., Derbentseva, N. & Cañas, A. J. (2005). A theoretical note on concepts and the need for cyclic concept maps. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 741–766.
- Schoolmanagers_VO. (2006). *Nieuw leren waarderen; een literatuuronderzoek naar effecten van nieuwe vormen van leren in het voortgezet onderwijs*.
- Simons, P. R. J. (2007). *Zes misverstanden over het nieuwe leren*. Beschikbaar op <http://www.scienceguide.nl/article.asp?articleid=102908>
- Souza, F. S. L. D., Boeres, M. C. S., Cury, D., Menezes, C. S. D. & Carlesso, G. (2008). An approach to comparison of concept maps represented by graphs. In A. J. Cañas, P. Reiska, M. Ahlberg & J. D. Novak (red.), *Concept mapping: Connecting educators. Proceedings of the third international conference on concept mapping*. Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: development of higher psychological processes* (M. Cole, red.). Harvard University Press.
- Watts, D. M. (1985). Student conceptions of light: a case study. *Physics Education*, 20(4), 183–187.
- White, R. T. & Gunstone, R. F. (1992). Concept mapping. In *Probing understanding* (pp. 15–43). The Falmer Press.

A. Lesstof

In deze bijlage is als overzicht van de lesstof het merendeel van de dik gedrukte woorden en samenvattende teksten uit de lesboeken *Natuur- en scheikunde Overal 2 havo/vwo* (2005) en *Natuurkunde Overal 3 vwo* (2007) weergegeven. De gebruikte indeling naar onderwerpen is toegelicht in paragraaf 2.3. De items met een streepje (–) zijn afkomstig uit de tweede klas, die met een kruisje (×) uit de derde.

A. Karakter van licht

- *Spectrum*
 - Infrarood (IR) en ultraviolet (UV) licht zijn beide onzichtbare straling met eigenschappen die veel op zichtbaar licht lijken.
 - Het volledige stralingsspectrum bestaat uit de volgende stralingssoorten: radiogolven, microgolven, infrarode straling, zichtbaar licht (van rood naar violet), ultraviolette straling, röntgenstraling en gammastraling. De laatste twee zijn het gevaarlijkst voor mensen.
- *Voortplanting*
 - Licht gaat altijd langs rechte lijnen.
 - Er zijn drie soorten lichtbundels: divergente, convergente en evenwijdige.
 - Een lichtstraal is een heel dunne lichtbundel.
 - Licht gaat rechtdoor totdat het ergens tegenaan botst. Dan kan het:
 - * Geabsorbeerd worden;
 - * Doorgelaten worden;
 - * Spiegelend of diffuus teruggekaatst worden.Een combinatie is ook mogelijk.
 - Schaduw ontstaat als het licht van een lichtbron wordt tegengehouden.
 - De kernschaduw is het gebied waar van een lichtbron geen licht komt.
 - In het halfschaduwgebied komt licht van een deel van de lichtbron.
 - De grootte van de schaduw hangt af van de afstand tussen voorwerp en lichtbron.
- *Lichtbron*
 - Een lichtbron is een voorwerp dat uit zichzelf licht geeft.
 - Natuurlijke lichtbronnen zijn in tegenstelling tot kunstmatige lichtbronnen niet door mensen gemaakt.
 - Zonsverduistering.

B. Reflectie

- *Terugkaatsing*
 - Diffuse en spiegelende reflectie, verstrooien.
 - × De spiegelwet luidt

de hoek van inval = de hoek van terugkaatsing

of

$$\angle i = \angle t$$

waarbij de hoek wordt gemeten ten opzichte van de normaallijn.

- *Absorptie*
 - Absorberen, absorptie.
- *Beeldvorming spiegel*
 - Je ziet een spiegelbeeld in een spiegelend oppervlak doordat licht van het voorwerp via de spiegel precies in je oog wordt weerkaatst. Het lijkt of het licht van achter de spiegel vandaan komt.
 - Het spiegelbeeld is even groot en ligt even ver achter de spiegel als het origineel ervoor staat.

C. Breking

- *Breking*
 - × Breking treedt op als een lichtstraal schuin invalt op een doorzichtig oppervlak. De breking gebeurt in het grensvlak van de twee stoffen. Dit verschijnsel heet lichtbreking. Hiermee is de werking van lenzen te verklaren.
- *Dispersie*
 - Wit licht is opgebouwd uit verschillende kleuren licht. Met een prisma kun je die kleuren uit elkaar rafelen.
- *Lenzen*
 - × Optisch midden O, hoofdas, brandpunt F, brandpuntsafstand f .
 - × Hoe bollor de lens, des te sterker de lens en des te kleiner de brandpuntsafstand.
 - × Lenssterkte $S = 1/f$, met S de lenssterkte in dpt, en f de brandpuntsafstand in m. Er geldt $1 \text{ dpt} = 1/\text{m} = 1 \text{ m}^{-1}$.
- *Beeldvorming lenzen*
 - × Convergerende en divergerende werking, beeldpunt, beeld, beeldafstand b , voorwerpsafstand v .
 - × Bij een scherpe afbeelding wordt een divergente bundel, die afkomstig is van één punt van een voorwerp, door een bolle lens samengebracht in één punt: een beeldpunt. Alle beeldpunten samen vormen het beeld. Een beeld is een scherpe afbeelding van een voorwerp.
 - × Met twee van de drie constructiestralen kun je het beeld van een voorwerp construeren.
 - × Een reëel beeld is af te beelden op een scherm, een virtueel beeld zie je als je door een lens heen kijkt.
 - × Voor de vergroting geldt

$$N = \frac{\text{grootte van het beeld}}{\text{grootte van het voorwerp}}$$

of

$$N = \frac{A^*B^*}{AB},$$

met N de vergroting (geen eenheid), A^*B^* de grootte van het beeld in m, en AB de grootte van het voorwerp in m.

- × De vergroting kun je ook uitrekenen met de beeldafstand en de voorwerpsafstand

$$N = \frac{\text{beeldafstand}}{\text{voorwerpsafstand}}$$

of

$$N = \frac{b}{v}$$

met N de vergroting (geen eenheid), b de beeldafstand in m, en v de voorwerpsafstand

in m.

- × Als je met een bolle lens een beeld maakt, geldt:
 - * bij een grote v hoort een kleine b en een kleine vergroting (een klein beeld);
 - * bij een kleine v hoort een grote b en een grotere vergroting (een groot beeld);
 - * bij gelijke v en b is de vergroting precies 1.
- × Camera obscura, fototoestel, digitale foto's, resolutie.
- × De lenzenformule luidt

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = S = \frac{1}{f}$$

met v de voorwerpsafstand in m, b de beeldafstand in m, S de sterkte van de lens in dpt, en f de brandpuntsafstand in m.

D. Zien

- *Zien algemeen*
 - Bron, onvanger.
 - Je ziet een voorwerp als er licht vanuit of via dat voorwerp in je oog valt.
 - Het gebied dat een waarnemer met zijn oog kan zien, vind je door rechte lijnen te tekenen net langs obstakels naar het oog toe.
- *Accommoderen*
 - × Je oog ziet voorwerpen op verschillende afstanden scherp door de sterkte van de ooglenzen aan te passen. Dit heet accommoderen.
 - × Vertepunt, nabijheidspunt.
- *Kleur*
 - Een voorwerp heeft een bepaalde kleur als het die kleur licht terugkaatst. De andere kleuren van het licht dat erop valt, worden geabsorbeerd.
 - De kleur van een voorwerp kan anders zijn als je het belicht met gekleurd licht.
 - Kleurenfilter.
 - De primaire kleuren zijn rood, groen en blauw. Als je deze kleuren met elkaar combineert, ontstaan de kleuren geel, magenta en cyaan.

B. Lesmateriaal

Deze bijlage bevat de diverse materialen die zijn gebruikt tijdens de lessen.
Het materiaal wordt toegelicht in paragraaf 3.4.

B.1 Brief leerlingen

Faculteit Gedragswetenschappen

Instituut ELAN
Lerarenopleiding



Aan de leerlingen van 3A1

datum	15 december 2008	e-mail	r.meijerink@alumnus.utwente.nl
onderwerp	Deelname afstudeeronderzoek		

Beste leerlingen,

Zoals jullie weten heb ik afgelopen maanden stage gelopen op De Grundel, als onderdeel van mijn lerarenopleiding aan de Universiteit Twente. Het laatste onderdeel van die studie is een afstudeeronderzoek, en daar ben ik momenteel druk mee bezig.

Dat onderzoek gaat over begrippenkaarten: een nieuw, leuk en nuttig hulpmiddel bij het studeren. Tijdens de komende lessen over het hoofdstuk 'optica' gaan jullie daarmee kennismaken. Het doel van mijn onderzoek is te kijken welke voordelen begrippenkaarten voor jullie hebben, en of jullie het inderdaad leuk vinden om ermee te werken. De resultaten in jullie klas ga ik vergelijken met die van leerlingen in 3A2, die met samenvattingen gaan werken.

De komende tijd merk je tijdens de normale lessen vanzelf wat er allemaal gaat gebeuren. Voor wie nieuwsgierig is, hierbij alvast een overzicht:

- Vandaag gaan jullie een *toets* maken, om te kijken wat jullie allemaal al weten over optica;
- Daarna geef ik *uitleg* wat begrippenkaarten zijn, en hoe je ze maakt;
- Op woensdag gaan jullie in tweetallen een eerste *kaart maken*;
- Tijdens de lessen na de kerstvakantie ga je die regelmatig *aanvullen*;
- Aan het einde van het hoofdstuk moet je de *kaart inleveren*;
- Tenslotte maak je weer een *toets*, zodat ik weet wat jullie allemaal geleerd hebben.

Van meneer Altena krijgen jullie dezelfde lessen als normaal, met een proefwerk op de datum die in de studieplanning staat. Van de toetsen en het maken van de kaart kun je al veel leren, dus als je slim bent, doe je daar ook goed je best voor. Natuurlijk is dat voor mijn onderzoek ook belangrijk, anders krijg ik geen voldoende van mijn leraar, dus geen diploma... En tenslotte: er staat ook wat lekkers tegenover! ☺

Na afloop laat ik jullie weten wat de resultaten van het onderzoek zijn. Mocht je in de tussentijd nog vragen hebben, dan mag je die natuurlijk aan mij stellen. Dat kan als ik aanwezig ben, of via bovenstaand e-mail adres.

Alvast bedankt voor jullie medewerking!
Met vriendelijke groet,

Ir. R. Meijerink

Faculteit Gedragwetenschappen

Instituut ELAN
Lerarenopleiding



Aan de leerlingen van 3A2

datum 15 december 2008 e-mail r.meijerink@alumnus.utwente.nl
onderwerp Deelname afstudeeronderzoek

Beste leerlingen,

Zoals jullie misschien weten heb ik afgelopen maanden stage gelopen op De Grundel, als onderdeel van mijn lerarenopleiding aan de Universiteit Twente. Het laatste onderdeel van die studie is een afstudeeronderzoek, en daar ben ik momenteel druk mee bezig.

Dat onderzoek gaat over begrippenkaarten: een nieuw hulpmiddel bij het studeren, een beetje vergelijkbaar met samenvattingen. Het doel van mijn onderzoek is te kijken welke voor- en nadelen begrippenkaarten hebben. Tijdens de komende lessen over het hoofdstuk 'optica' gaan jullie daarom een samenvatting van de lesstof maken. De resultaten in jullie klas ga ik vergelijken met die van 3A1, waarin de leerlingen met begrippenkaarten gaan werken.

De komende tijd merk je tijdens de normale lessen vanzelf wat er allemaal gaat gebeuren. Voor wie nieuwsgierig is, hierbij alvast een overzicht:

- Vandaag gaan jullie een *toets* maken, om te kijken wat jullie allemaal al weten over optica;
- Op donderdag gaan jullie een eerste *samenvatting maken*;
- Tijdens de lessen na de kerstvakantie ga je die regelmatig *aanvullen*;
- Aan het einde van het hoofdstuk moet je de *samenvatting inleveren*;
- Tenslotte maak je weer een *toets*, zodat ik weet wat jullie allemaal geleerd hebben.

Van meneer Altena krijgen jullie dezelfde lessen als normaal, met een proefwerk op de datum die in de studieplanning staat. Van de toetsen en het maken van de samenvatting kun je al veel leren, dus als je slim bent, doe je daar ook goed je best voor. Natuurlijk is dat voor mijn onderzoek ook belangrijk, anders krijg ik geen voldoende van mijn leraar, dus geen diploma... En tenslotte: er staat ook wat lekkers tegenover! ☺

Na afloop laat ik jullie weten wat de resultaten van het onderzoek zijn. Mocht je in de tussentijd nog vragen hebben, dan mag je die natuurlijk aan mij stellen. Dat kan als ik aanwezig ben, of via bovenstaand e-mail adres.

Alvast bedankt voor jullie medewerking!
Met vriendelijke groet,

Ir. R. Meijerink

B.2 Pre-test

TOETS NATUURKUNDE
Optica
NATUURKUNDE OVERAL 3V H3



Voor deze multiple-choice toets van 18 vragen heb je ongeveer 25 minuten de tijd.

*Dat is niet veel, dus omcirkel het antwoord waarvan je als eerste denkt dat het goed is.
Als je écht geen idee hebt, dan kun je gokken, maar zet dan een kruisje voor de vraag.
Je mag op dit blaadje schrijven of tekenen, en je hoeft geen toelichting te geven. Veel succes!*

Naam: Klas:

1. Wat is de snelheid van licht in vacuüm (=het luchtledige)?
 - a Ongeveer 300.000 km/s.
 - b De snelheid is oneindig groot.
 - c Dat hangt van de kleur licht af.

2. Door een raam valt licht in een grote, donkere en lege kamer.
Kun je het licht zien als je in de kamer staat?
 - a Nee, want het is donker in de kamer.
 - b Ja, want lichtstralen geven licht.
 - c Dat hangt van de kamer af.

3. Op een mooie lentedag zit in je de woonkamer, het licht is uit en er valt licht door het raam naar binnen. Hoe komt het dat het in een hoekje naast het raam niet pikkedonker is?
 - a Licht dat binnenvalt buigt 90 graden om het hoekje heen.
 - b Licht dat binnenvalt reflecteert tegen de muren.
 - c Het is wel donker, maar je ogen houden je voor de gek.

4. Kun je alle soorten licht zien?
 - a Ja.
 - b Nee.
 - c Kinderen niet, volwassenen wel.

5. De maan is...
 - a Een natuurlijke lichtbron.
 - b Een kunstmatige lichtbron.
 - c Geen lichtbron.

6. De schaduw van een voorwerp wordt bepaald door...

- a De vorm van het voorwerp.
- b De vorm van de lichtbron.
- c De vorm van voorwerp én lichtbron.

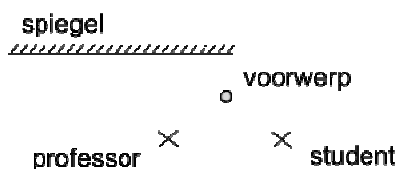
7. Je bekijkt jezelf in de spiegel. Waar bevindt je spiegelbeeld zich?

- a Op de spiegel.
- b Achter de spiegel.
- c In je oog.

8. Bekijk het volgende bovenaanzicht.

Voor wie is het voorwerp te zien in de spiegel?

- a Alleen voor de professor
- b Alleen voor de student
- c Voor geen van beiden
- d Voor allebei



9. Zoals je weet reflecteren spiegels. Reflecteren houten tafels ook?

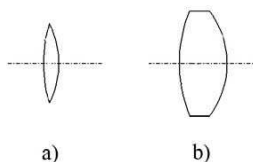
- a Ja, altijd.
- b Nee, nooit.
- c Ja, als ze schoongemaakt zijn.

10. Uit hoeveel kleuren bestaat wit licht?

- a 1
- b 7
- c oneindig veel

11. Je hebt twee lenzen. Welke lens is sterker?

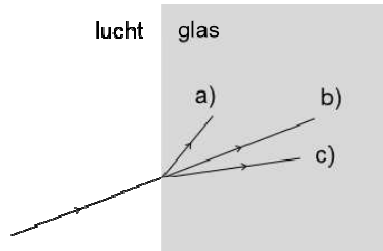
- a De linker lens (a).
- b De rechter lens (b).
- c Ze zijn ongeveer even sterk.



12. Kun je een virtueel beeld zien?

- a Ja, met een scherm.
- b Ja, met een loep.
- c Nee, nooit.

13. Hoe gaat de getekende lichtstraal (van links naar rechts) ongeveer verder?
- a Volgens lichtstraal a).
 - b Volgens lichtstraal b).
 - c Volgens lichtstraal c).



14. Je bent met een beamer een film aan het kijken op een scherm.
Wat gebeurt er als je de beamer verder weg zet?
- a Het beeld wordt vaag.
 - b Het beeld draait op een gegeven moment om.
 - c Het beeld wordt kleiner.
15. Met behulp van een lens bekijk je de afbeelding van een voorwerp op een scherm.
Wat gebeurt er met het beeld als je een deel van de lens bedekt?
- a Het beeld wordt minder fel.
 - b Het beeld wordt kleiner.
 - c Het beeld verdwijnt voor een deel.
16. Heb je licht nodig om te kunnen kijken?
- a Nee, maar licht maakt het wel makkelijker.
 - b Ja, zonder licht kun je niets zien.
 - c Nee, want daarvoor heeft een mens ogen.
17. Als je rood licht en groen licht combineert, welke kleur krijg je dan?
- a Wit
 - b Geel
 - c Zwart
 - d Een andere kleur
18. Waarom ziet een blikje cola er rood uit?
- a Het blikje zendt rood licht uit.
 - b Het reflecteert rood licht.
 - c Het absorbeert rood licht.

B.3 Instructie



Begrippenkaarten

16 december 2008
3A1

Wat ga ik vandaag vertellen?

Begrippenkaarten....

- * Waarom zijn ze handig?
- * Hoe zien ze eruit?
- * Hoe maak je ze?

>> Morgen gaan jullie zelf je eerste kaart maken!

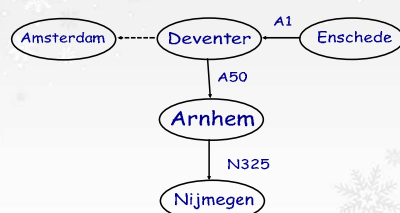
Waarom zijn begrippenkaarten handig?

Stel dat je iemand de route van Enschede naar Nijmegen moet uitleggen. Wat doe je?

Wat doe je? Optie 1: routebeschrijving

Pak vanaf de Westerveld de A35. Neem na vijftien kilometer de afslag A1 richting Deventer/Amsterdam. Volg deze weg bijna vijftig kilometer tot de afslag richting Arnhem, vlakbij Deventer. Deze afslag moet je niet missen, want anders kom je in Amsterdam uit! Bij de afslag kom je op de A50 en deze weg volg je eenentwintig kilometer. Hier staat 's ochtends trouwens vaak file. Je gaat over in de A12 om het centrum van Arnhem te vermijden (dat trouwens wel mooi is) en gebruikt na een paar minuten de afslag Nijmegen/'s-Hertogen-bosch/Rotterdam. Je zit nu weer op de A50, waarop je na iets meer dan dertien kilometer de afslag richting Bemmel/Kleve neemt. Voeg in op de A15 en neem de afslag richting Nijmegen. De N325 komt uit in Nijmegen, maar dat duurt nog een paar minuutjes.

Wat doe je? Optie 2: kaart tekenen



Waarom zou ik voor de kaart kiezen?

- * Er staat minder onzin tussen
- * Je ziet onderlinge verbanden sneller
- * Het is makkelijker te onthouden

>> Voor Natuurkunde geldt dat ook:

een kaart is een goede samenvatting van de lesstof!

Kaarten bij Natuurkunde

Een kaart als samenvatting noemen we een *begrippenkaart*

De plaatsnamen zijn in dit geval *begrippen*

en de verbindingswegen zijn *verbanden*

Als je de kaart van boven naar beneden leest, heb je een soort samenvatting: het maken & het resultaat zijn een hulpmiddel bij het leren

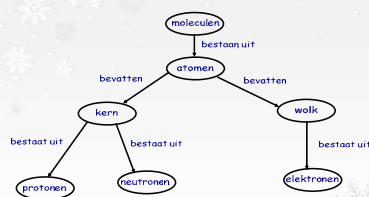
Begrippenkaarten: een voorbeeld

Alle moleculen bestaan uit atomen.

Op hun beurt bestaan atomen weer uit een kern met een wolk eromheen.

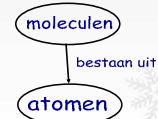
De wolk bestaat uit elektronen, de kern bestaat uit neutronen en protonen.

Normaal gesproken zitten er evenveel elektronen in de wolk, als protonen in de kern.

Begrippenkaarten: een voorbeeld**Hoe zit zo'n kaart in elkaar?**

- * In de *cirkels* staan begrippen
- * Tussen twee cirkels zit een pijl met *verband*
- * 2 begrippen + verband = een *bewering*

vb:

**Paar belangrijke dingen...**

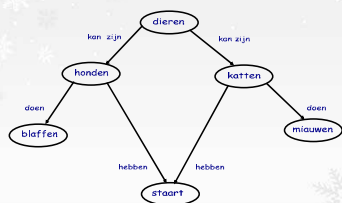
- * De plek van de begrippen is belangrijk: de belangrijkste (meest algemene) staan bovenaan
- * Er zijn oneindig veel "goede" kaarten over hetzelfde onderwerp !!!
- * De 2 begrippen en het verband vormen samen (een stukje van) een zin:
 - het eng bestaat uit het andere
 - dit is het tegenovergestelde van dat
 - zus wordt beïnvloed door zo

Nog een paar opmerkingen...

- * Er staat altijd een woord langs de verbindingspijl
- * Een pijl van boven naar beneden vervangen we vaak door een lijntje
- * Er kunnen meerdere pijlen tussen 2 begrippen staan
- * Maak verbanden tussen twee verschillende 'takken': kruisverbanden



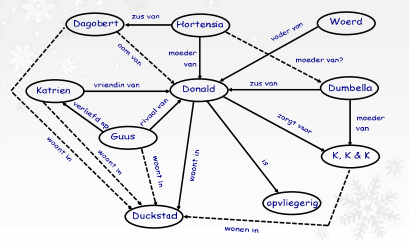
Nog een voorbeeld



Voorbeeld: wie is Donald Duck?

1. Donald Duck woont in Duckstad.
2. Hortensia is de moeder van Donald.
3. Hortensia is de zus van oom Dagobert.
4. Woerd "Snater" is de vader van Donald.
5. Dumbella is de zus van Donald.
6. Dumbella is de moeder van Kwik, Kwek en Kwak.
7. Donald zorgt voor Kwik, Kwek en Kwak.
7. Donald's vriendinnetje heet Katrien.
8. Zijn rivaal Guus Geluk is ook verliefd op Katrien.
9. Donald is heel opvliegerig.
10. [vul maar aan!]

Wie is Donald Duck?



Hoe ga je van tekst naar kaart?

Vijf-Stappen-Plan:

1. Zoek de belangrijkste woorden (begrippen)
2. Zet de begrippen in volgorde van belangrijkheid (de belangrijkste bovenaan)
3. Omcirkel de begrippen en geef ze een plekje
4. Zoek verbanden tussen de woorden en schrijf de verbindingswoorden op
5. Trek lijntjes tussen de begrippen

B.4 Opdracht pre-kaart

OPDRACHT NATUURKUNDE
 Begrippenkaart “licht”
 NATUURKUNDE OVERAL 2V (H2) & 3V (H3)



*Vandaag ga je in **tweetalen** op een groot vel papier een begrippenkaart maken over licht. Op het grote vel zet je aan het einde van de les linksboven jullie namen en je levert het in.*

Je mag rustig (!) met andere groepjes overleggen, maar elk tweetal levert zijn eigen kaart in. Zoals je weet zijn er oneindig veel “goede” kaarten, dus twee kaarten zijn nooit hetzelfde!

Je kunt vragen stellen, als je de Natuurkunde of de kaarten niet (meer) snapt. Succes!

Een beginnetje

- De begrippenkaart moet antwoord geven op de vraag “Wat is licht?”
- Het belangrijkste begrip is (natuurlijk) “licht”;
- Aan dat begrip zitten in ieder geval vijf beweringen (hoofdonderwerpen) vast:
 - Straling kan zijn licht.
 - Licht heeft kleur;
 - Licht heeft richting;
 - Licht is nodig voor zien;
 - Licht veroorzaakt schaduw;
 - Licht is afkomstig van lichtbron.

Stappenplan

1. Zoek in de uitgedeelde samenvatting per hoofdonderwerp naar de belangrijkste begrippen. De hoofdonderwerpen zijn hierboven onderstreept;
 2. Schrijf alle begrippen (bij voorkeur met potlood) elk op een geel post-it blaadje;
 3. Verdeel de begrippen (post-it blaadjes) over het vel, maak een logisch geheel. Het is waarschijnlijk handig om het grote vel ‘liggend’ te gebruiken. Plak “licht” verticaal op een kwart, horizontaal in het midden van het vel. Plak alleen “straling” boven “licht”, de andere hoofdonderwerpen eronder.
 4. Discussieer met elkaar en met andere groepjes over de begrippen en de verdeling;
- !! LAAT DE KAART AAN EEN LERAAR ZIEN VOORDAT JE PIJLEN GAAT TEKENEN OP HET VEL !!
5. Verbind de begrippen met pijltjes en woorden (bij voorkeur met potlood);
 6. Kijk goed naar het resultaat, discussieer met elkaar en ook met andere groepjes;
 7. Leg verbanden tussen begrippen die ver van elkaar, in verschillende delen van de kaart liggen;
 8. Als je allebei tevreden bent, ga je in het nieuwe hoofdstuk lezen en begrippen toevoegen.

Tips naar aanleiding van de Donald Duck-kaart

- Gebruik in plaats van lijntjes liever altijd pijltjes;
- Zet een woord bij de pijltjes (het mogen ook twee of drie woorden zijn);
- Zorg dat alle begrippen ergens aan vast zitten, dat er geen ‘eilandjes’ zijn;
- Let op dat het verband wel klopt, als je in de richting van de pijl leest; (dus niet: Dumbella – is broer van – Donald, want Dumbella is niet de *broer* van Donald!)
- Zoek naar nieuwe verbanden, ook tussen begrippen die ver weg van elkaar liggen; (bv: Hortensia is moeder Donald, Dumbella is zus Donald, dus Hortensia is moeder Dumbella)
- Je mag rustig nieuwe begrippen introduceren, die je zelf toevallig al kende; (zoals: Mickey Mouse is de vriend van Donald, Mickey is de eigenaar van Pluto, enzovoort...)
- Niet alle begrippen hoeven vast te zitten aan het belangrijkste begrip (Donald), de vorm moet uiteindelijk meer op een omgekeerde boom lijken, dan op een spinnenweb;
- Het belangrijkste begrip staat dan ook vaker ergens bovenaan, dan precies in het midden.

B.5 Samenvatting 2V

SAMENVATTING NATUURKUNDE *Licht en kleur* NATUURKUNDE OVERAL 2V H2



Dit is een samenvatting van het hoofdstuk over licht dat je in de tweede klas hebt gehad.

Straling

- Infrarood en ultraviolet licht zijn beide onzichtbare straling met eigenschappen die veel op zichtbaar licht lijken.
- Het volledige stralingsspectrum bestaat uit de volgende stralingssoorten: radiogolven, microgolven, infrarode straling, zichtbaar licht (van rood naar violet), ultraviolette straling, röntgenstraling en gammastraling. De laatste twee zijn het gevaarlijkst voor mensen.

Kleur

- Wit licht is opgebouwd uit verschillende kleuren licht. Met een prisma kun je die kleuren uit elkaar rafelen.
- Een voorwerp heeft een bepaalde kleur als het die kleur licht teruggekaatst. De andere kleuren van het licht dat erop valt, worden geabsorbeerd.
- De kleur van een voorwerp kan anders zijn als je het belicht met gekleurd licht.
- De primaire kleuren zijn rood, groen en blauw. Als je deze kleuren met elkaar combineert, ontstaan de kleuren geel, magenta en cyaan.

Richting

- Licht gaat altijd langs rechte lijnen.
- Er zijn drie soorten lichtbundels: divergente, convergente en evenwijdige.
- Een lichtstraal is een heel dunne lichtbundel.
- Licht gaat rechtdoor totdat het ergens tegenaan botst. Dan kan het:
 - Geabsorbeerd worden;
 - Doorgelaten worden;
 - Spiegelen of diffuus teruggekaatst worden.
 Een combinatie is ook mogelijk.
- Je ziet een spiegelbeeld in een spiegelen oppervlak doordat licht van het voorwerp via de spiegel precies in je oog wordt weerkaatst. Het lijkt of het licht van achter de spiegel vandaan komt.
- Het spiegelbeeld is even groot en ligt even ver achter de spiegel als het origineel ervoor staat.

Zien

- Je ziet een voorwerp als er licht vanuit of via dat voorwerp in je oog valt.
- Het gebied dat een waarnemer met zijn oog kan zien, vind je door rechte lijnen te tekenen net langs obstakels naar het oog toe.

Schaduw

- Schaduw ontstaat als het licht van een lichtbron wordt tegengehouden.
- De kernschaduw is het gebied waar van een lichtbron geen licht komt.
- In het halfschaduwgebied komt licht van een deel van de lichtbron.
- De grootte van de schaduw hangt af van de afstand tussen voorwerp en lichtbron.

Lichtbron

- Een lichtbron is een voorwerp dat uit zichzelf licht geeft.
- Natuurlijke lichtbronnen zijn in tegenstelling tot kunstmatige lichtbronnen niet door mensen gemaakt.

B.6 Practica

PRACTICUM NATUURKUNDE
Wet van Snellius
 NATUURKUNDE OVERAL LEERBOEK 3HV



Namen:

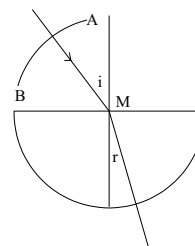
Datum: **Klas:**

De wet van Snellius luidt:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \text{brekingsindex}$$

In deze formule is:

- i = de hoek van inval in graden.
 r = de hoek van breking in graden.
 n = de brekingsindex van het perspex.



Uitvoering: (gebruik het werkblad op de achterkant):

1. Zet het lichtbakje (met één lichtstraal) ergens op de cirkelboog AB. Schijn met de lichtstraal precies op het punt M (het midden van het stukje perspex).
2. Teken de lichtstraal die op het perspex valt én de lichtstraal die verder gaat door het perspex. Verzin zelf een goede manier om dat laatste te doen.

De hoek die de invallende lichtstraal maakt met de normaal heet de hoek van inval (i) en de hoek die de brekende lichtstraal maakt met de normaal heet de hoek van breking (r).

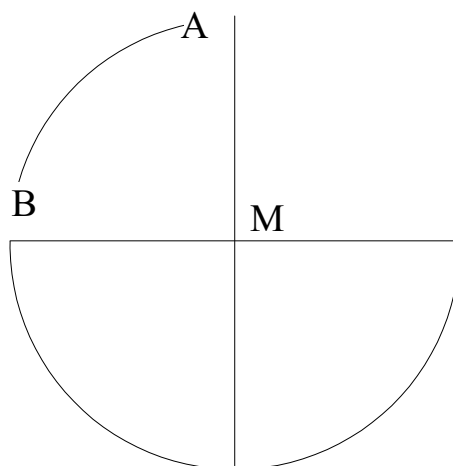
3. Maak totaal 8 metingen allemaal vanaf de cirkelboog AB. Verdeel de metingen over AB. Nummer de stralen.
4. Meet de hoeken en vul de tabel in.

straal	i (°)	r (°)	sin i	sin r	sin i : sin r
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					

Opdrachten:

1. Bereken voor elke meting de sinus van de hoek; op je rekenmachine vind je een knop 'sin' en als je de sinus van bijvoorbeeld 30° wilt uitrekenen typ je: 'sin30'. Niet afronden.
2. Bereken voor elke meting tevens sin i : sin r. Rond af op 3 significante cijfers.
3. Bereken de brekingsindex van perspex zo goed mogelijk door het gemiddelde van al je metingen uit te rekenen.
4. Vergelijk je antwoord met de waarde in het Binas tabellenboek.....



WERKBLAD BIJ SNELLIUS:

PRACTICUM NATUURKUNDE
Afbeelding met een lens
 NATUURKUNDE OVERAL LEERBOEK 3HV

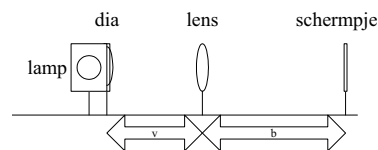


Namen:

Datum: **Klas:**

Uitvoering:

- Zet een dia in de gleufjes van de lichtbron.
- Zet de lichtbron, de lens en het scherm op één lijn.
- Schuif net zo lang totdat er een scherpe afbeelding van de dia op het scherm verschijnt.



In deze situatie is de afstand van het voorwerp tot de lens de voorwerpsafstand (v) en de afstand van de lens tot het scherm de beeldafstand (b). Bij iedere v hoort dus één b .

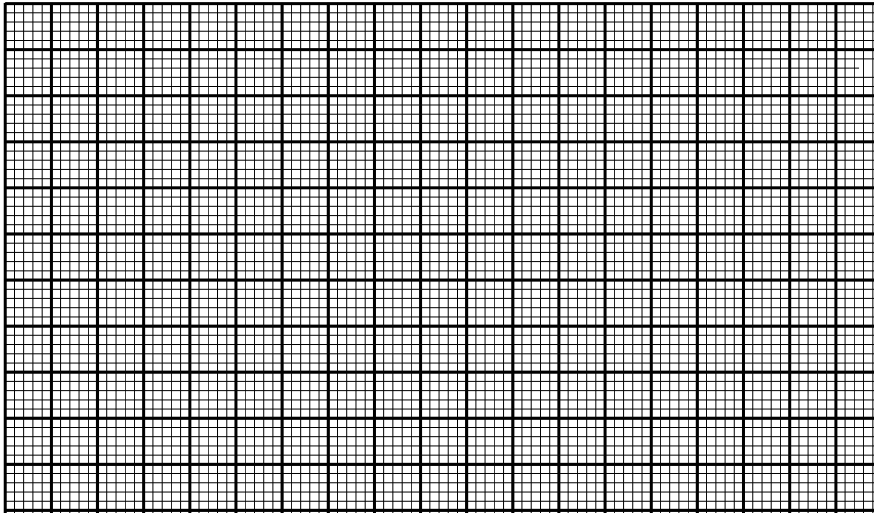
- Meet v en b zo nauwkeurig mogelijk (tot op mm nauwkeurig).
- Door de lens en het scherm te schuiven krijg je andere combinaties van b en v . Doe nog 8 metingen, waarbij je b en v zoveel mogelijk varieert. Blijf op de tafel!

nr	v (cm)	b (cm)	$\frac{1}{v}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{v} + \frac{1}{b}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

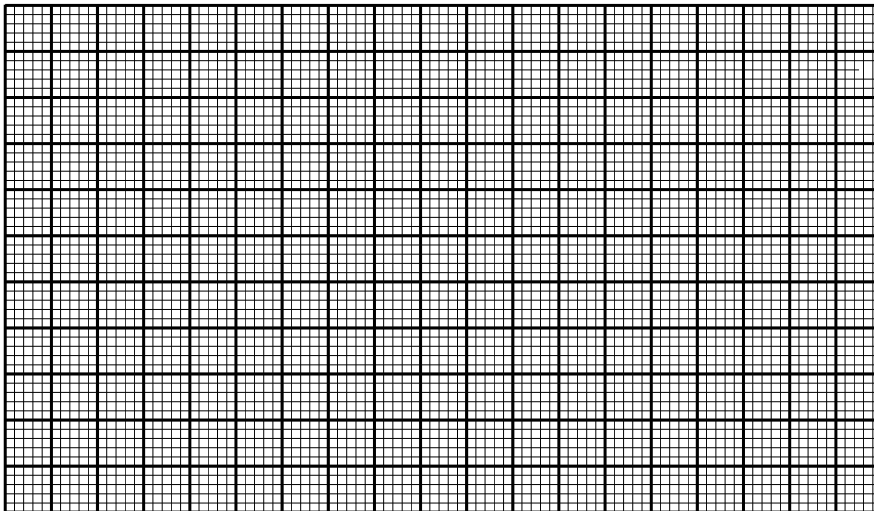
Opdrachten:

1. Bereken voor elke meting $\frac{1}{v}$ en $\frac{1}{b}$ (Niet afronden!).
2. Bereken voor elke meting $\frac{1}{v} + \frac{1}{b}$ (Wel afronden op 2 significante cijfers).
3. Maak op de achterkant een grafiek met v op de horizontale as en b op de verticale as.
4. Maak op de achterkant een tweede grafiek met $\frac{1}{v}$ op de horizontale as en $\frac{1}{b}$ op de verticale as.





5. Hoe wordt deze grafiek met bovenstaande vorm bij wiskunde genoemd?



6. Hoe wordt deze grafiek met bovenstaande vorm bij wiskunde genoemd?

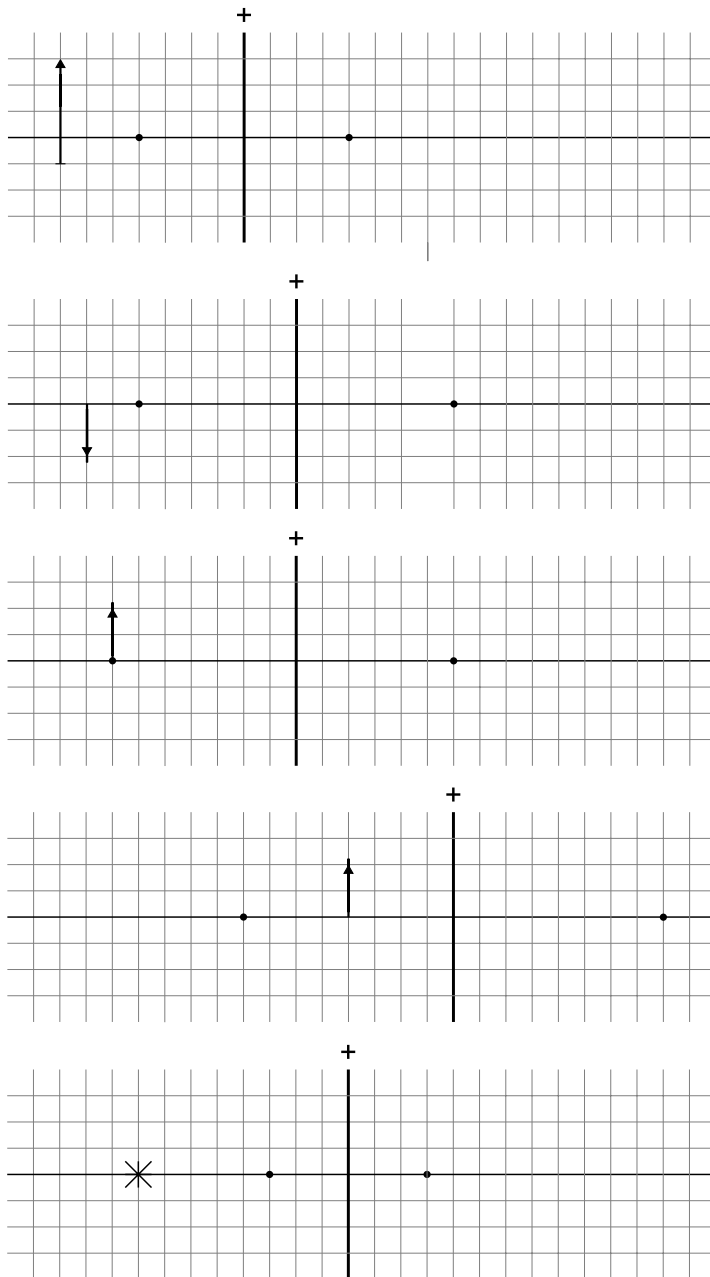
7. De brandpuntafstand f van de lens is gelijk aan het omgekeerde (1 gedeeld door...) van de getallen uit 6^e kolom van de tabel. Bereken de gemiddelde waarde van f die uit je metingen volgt.

B.7 Stencils

STENCIL NATUURKUNDE
Lenzen
NATUURKUNDE OVERAL 3V



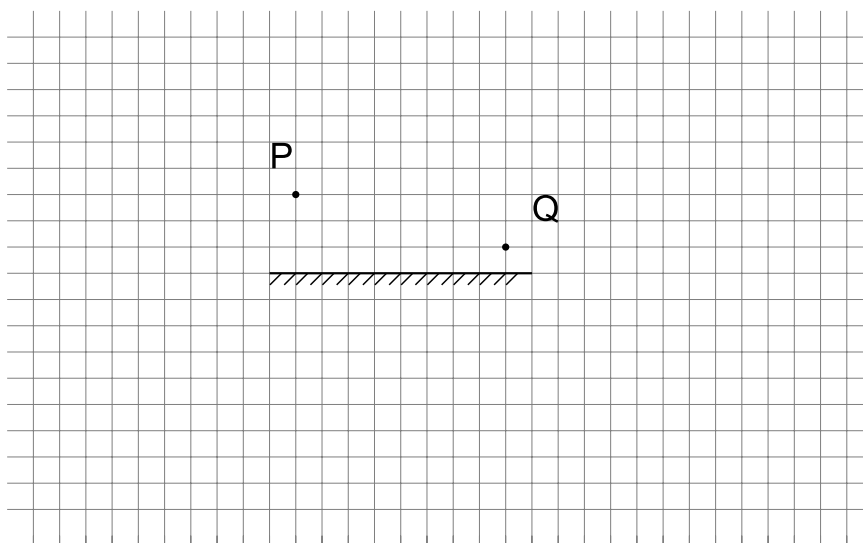
Eerst in de linkerkolom tekenen, in een volgende les in de rechterkolom berekenen.



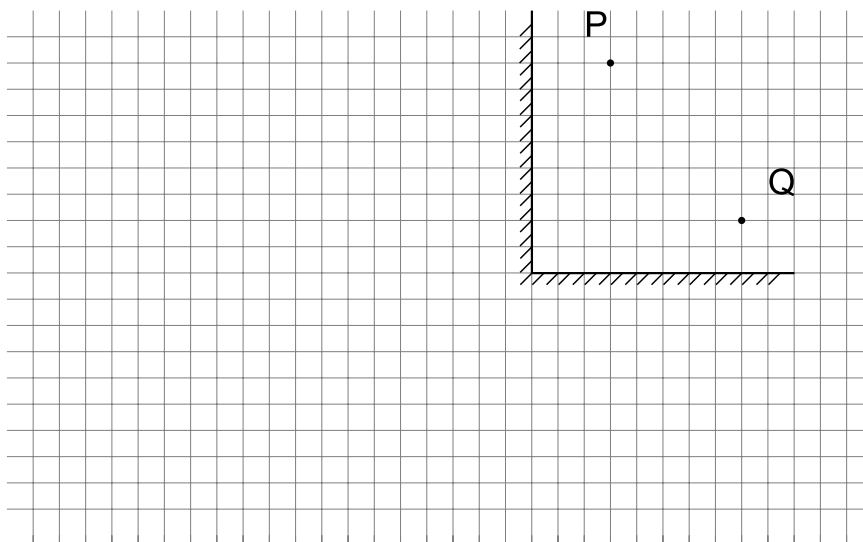
STENCIL NATUURKUNDE
Spiegels
NATUURKUNDE OVERAL 3HV



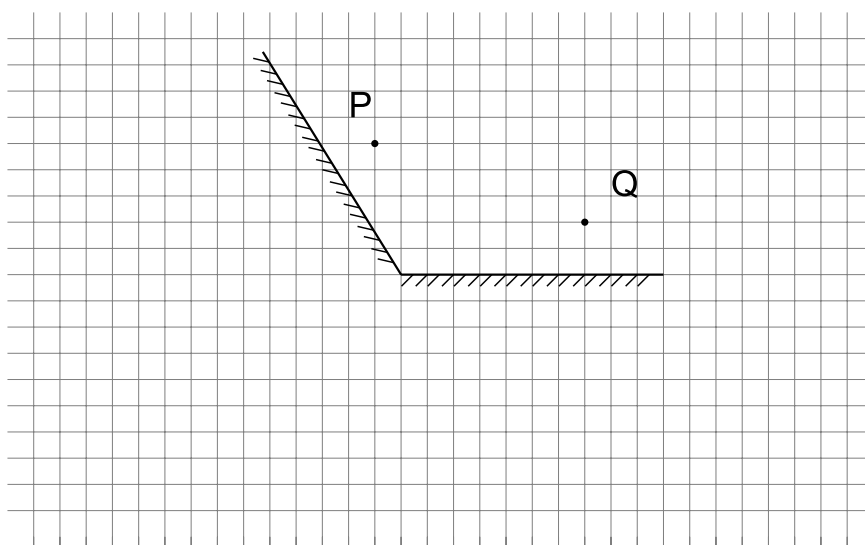
1. Teken 2 lichtstralen van *P* naar *Q*



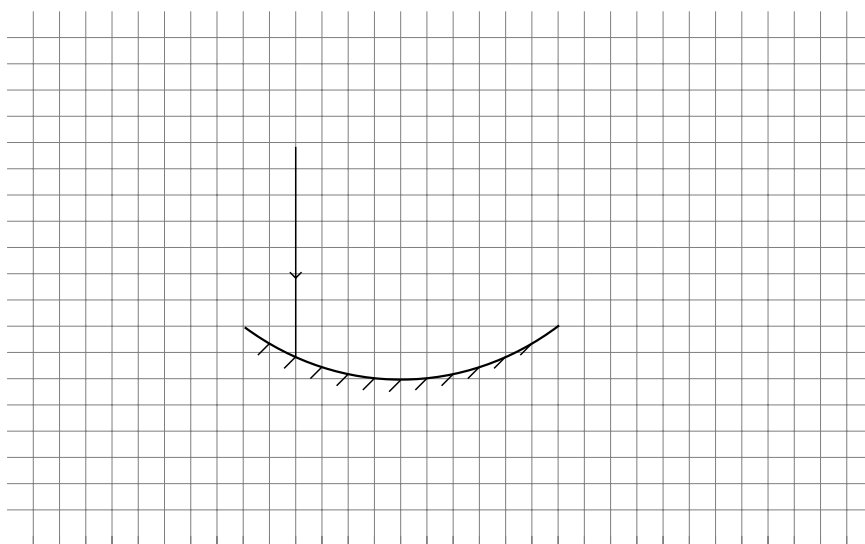
2. Teken 4 lichtstralen van *P* naar *Q*



3. Teken 4 lichtstralen van P naar Q



4. Bepaal het brandpunt van de holle spiegel

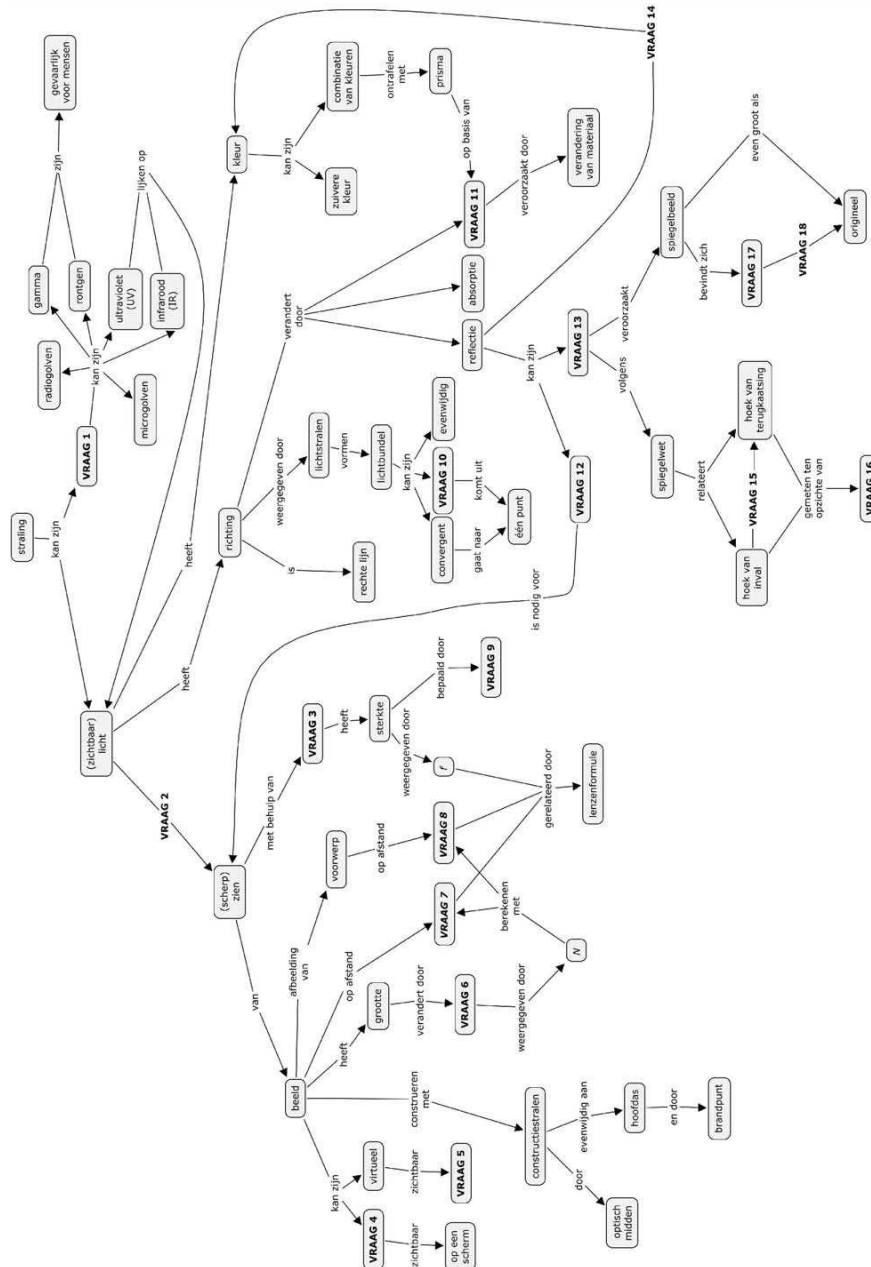


B.8 Post-kaart

OPDRACHT NATUURKUNDE Begrippenkaart "licht" NATUURKUNDE OVERAL 3V H3



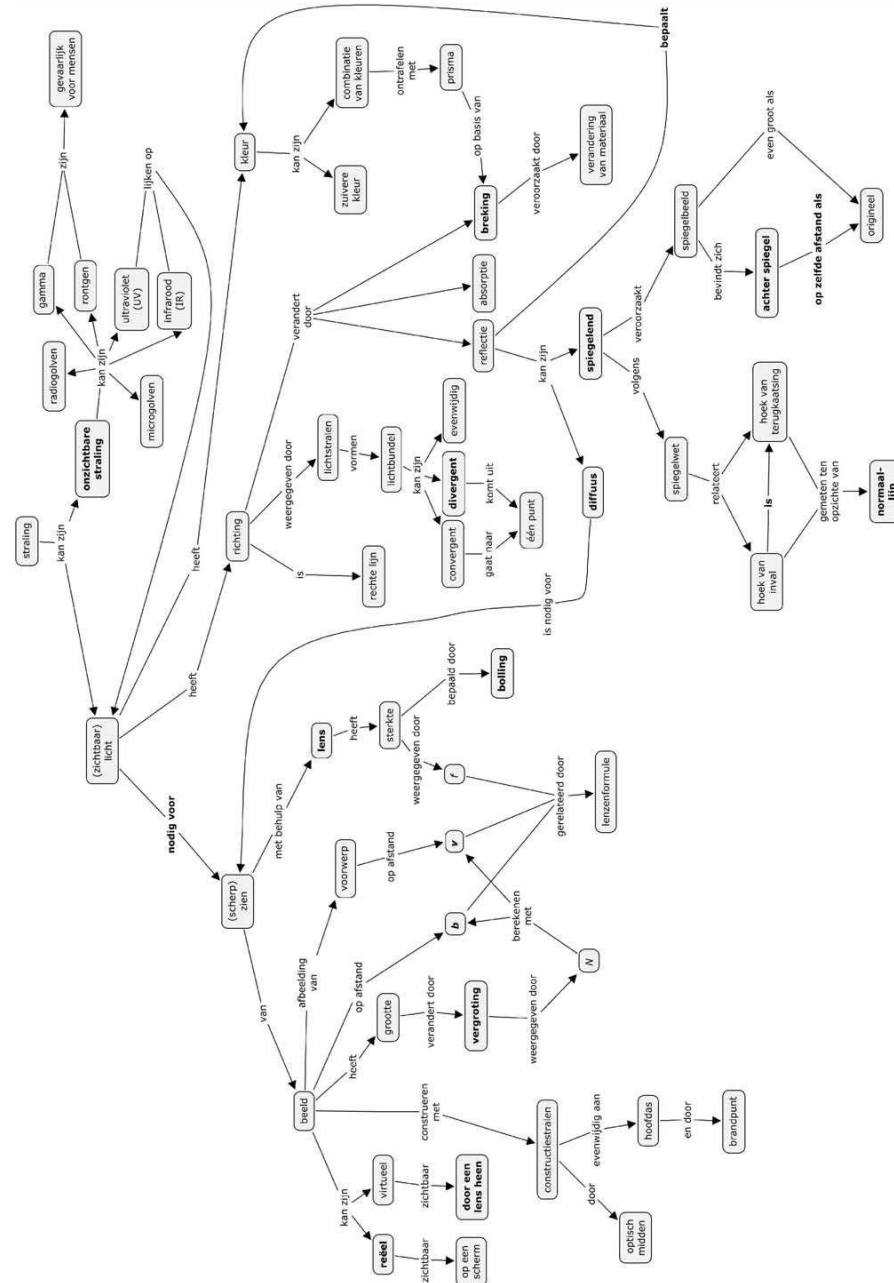
Op de 18 plaatsen waar "VRAAG xx" staat moet één woord (of enkele woorden) worden ingevuld.
Scrijft de antwoorden op een los blaadje en lever dat in! Je mag boek, stencils en schrift gebruiken.



SAMENVATTING NATUURKUNDE
 Begrippenkaart "licht"
 NATUURKUNDE OVERAL 3V H3



Op verzoek: de ingevulde kaart. De weergegeven antwoorden zijn niet de enige goede oplossing.



B.9 Proefwerk

PROEFWERK NATUURKUNDE

Hoofdstuk 3

NATUURKUNDE OVERAL 3V



Bij berekeningen moet steeds opgeschreven worden: de formule, het invullen, het antwoord en de juiste eenheid.

Formules: $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{v}$ $N = \frac{BB'}{VV'} = \frac{b}{v}$ $S = \frac{1}{f}$

Veel succes!

1. Beantwoord de volgende vragen:
 - a Noteer de betekenis van de afkorting IR.
 - b Noteer 6 kleuren van de regenboog.
 - c Leg uit welke kleuren de Nederlandse vlag lijkt te hebben in blauw licht. Maak een tekening ter verduidelijking.
2. Teken op de bijlage in figuur 1 hieronder 4 lichtstralen van P naar Q. Laat duidelijk zien hoe je aan je antwoord komt.
3. Gegeven: $f=20$ cm.
Bereken S.
4. Noteer de betekenis van de afkorting dpt en geef de andere gelijkwaardige eenheid.
5. Gegeven: $v = 20$ cm en $b = 60$ cm.
Bereken S.
6. Gegeven: $v = 60$ cm en $f = 15$ cm.
Bereken b.
7. Gegeven: $b = 35$ cm en $f = 25$ cm.
Bereken v.
8. Een diap projector wordt zo ingesteld dat bij een afstand van 1,60 m tussen lens en een scherm een scherp beeld op het scherm komt. De lens van de projector heeft een brandpuntafstand van 0,40 m.
 - a Bereken de afstand tussen de dia en de lens.
 - b Bereken de vergroting.

Op de dia heeft een boom een hoogte van 2,2 cm.

 - c Bereken de hoogte van de boom op het scherm.

De lens wordt iets dichterbij de dia gezet. Het beeld op het scherm verandert dan.

 - d Leg uit wat de belangrijkste verandering is.
9. In figuur 2 op de bijlage is een dia en een lens met zijn brandpunten getekend.
Construeer* het beeld. Laat duidelijk zien hoe je aan je antwoord komt.
10. In figuur 3 op de bijlage is een dia en een lens met zijn brandpunten getekend.
Construeer* het beeld. Laat duidelijk zien hoe je aan je antwoord komt.

* construeer = bepalen door te tekenen.

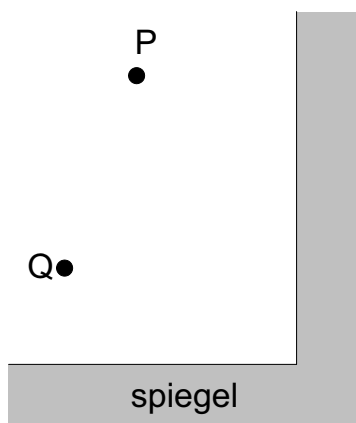


PROEFWERK NATUURKUNDE
Hoofdstuk 3 – Bijlage (inleveren!)
NATUURKUNDE OVERAL 3V

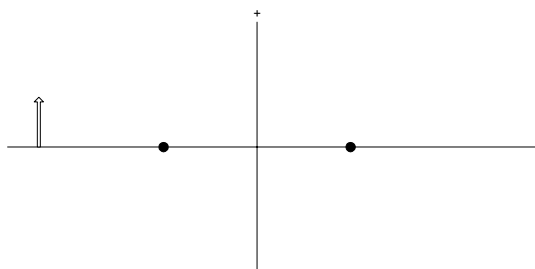


Naam:

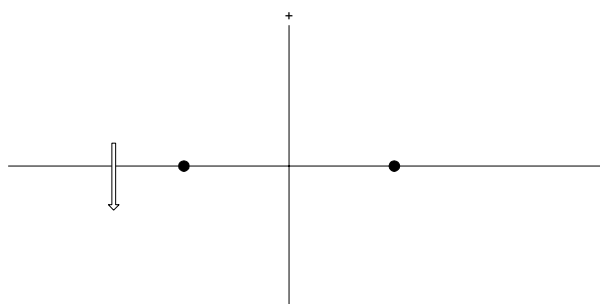
Klas:



Figuur 1:



Figuur 2:



Figuur 3:



B.10 Enquête

ENQUÊTE NATUURKUNDE *Optica* NATUURKUNDE OVERAL 3V H3



*Als laatste ga ik je een paar vragen stellen. Kruis per vraag één antwoord aan!
Er is geen goed of fout, voor mijn onderzoek heb ik het meeste aan je eerlijke mening.*

	Helemaal niet mee eens	Niet zo mee eens	Beetje mee eens	Helemaal mee eens
Algemeen				
Ik vind Natuurkunde <u>moeilijk</u>	☐	☐	☐	☐
Ik vind Natuurkunde <u>leuk</u>	☐	☐	☐	☐
Ik vond het onderwerp 'licht' <u>moeilijk</u>	☐	☐	☐	☐
Ik vond het onderwerp 'licht' <u>leuk</u>	☐	☐	☐	☐
Lesonderdelen				
Ik vond het <u>leuk</u> om te werken met....				
...uitleg	☐	☐	☐	☐
...stencils	☐	☐	☐	☐
...sommen	☐	☐	☐	☐
...practica	☐	☐	☐	☐
...begrippenkaarten	☐	☐	☐	☐
Ik vond het <u>leerzaam</u> om te werken met....				
...uitleg	☐	☐	☐	☐
...stencils	☐	☐	☐	☐
...sommen	☐	☐	☐	☐
...practica	☐	☐	☐	☐
...begrippenkaarten	☐	☐	☐	☐
Begrippenkaarten				
Begrippenkaarten lijken me handig als...				
...herhaling aan het begin van een hoofdstuk	☐	☐	☐	☐
...overzicht van de lesstof tijdens de lessen	☐	☐	☐	☐
...samenvatting aan het einde van een hoofdstuk	☐	☐	☐	☐
Wat vind je van begrippenkaarten?				
Heb je nog vragen of opmerkingen? Dit is je kans!				

Dankjewel!

C. Begrippenkaarten

In de web-versie van deze thesis zijn de zogeheten pre-kaarten, de begrippenkaarten die de leerlingen in tweetallen hebben gemaakt aan het begin van de lessenserie, niet opgenomen om de bestandsgrootte te beperken.

Voor de volledige thesis kunt u contact opnemen met het secretariaat van ELAN, de begeleiders die vermeld staan op de voorzijde, of met de auteur op r.meijerink@alumnus.utwente.nl.

Figuur C.1: Pre-kaart Iris & Iris

Figuur C.2: Pre-kaart Wouter & Tim

Figuur C.3: Pre-kaart Marjolein & Hosnia

Figuur C.4: Pre-kaart Bas & Kees

Figuur C.5: Pre-kaart Marèl & Amber

Figuur C.6: Pre-kaart Lea & Sabine

Figuur C.7: Pre-kaart Jesse & Jordy

Figuur C.8: Pre-kaart Eva & Liese

Figuur C.9: Pre-kaart Laura & Shera

Figuur C.10: Pre-kaart Rick & Mark

Figuur C.11: Pre-kaart Daan & Mike

Figuur C.12: Pre-kaart Hugo & Robin

Figuur C.13: Pre-kaart Daisy & Britt

Figuur C.14: Pre-kaart Niels & Arjen

Figuur C.15: Pre-kaart Thari & Jacomina

Figuur C.16: Pre-kaart Annette & Nicole

D. Data

In deze bijlage is de ruwe data opgenomen, die is verzameld ten behoeve van de analyses in hoofdstuk 4. Afgeleide data zijn niet allemaal opgenomen, zoals bijvoorbeeld de test-scores over de verschillende deelonderwerpen. In de tabellen met testresultaten is onderin de antwoordsleutel opgenomen.

Tabel D.1: Gegevens en cijfers 3A1

naam	geslacht	tweede klas ...				derde klas ...					pre-test	post-test	post-kaart
		klas	pract.	proefw.	eindrapp.	klas	1e rapp.	pract. 1	pract. 2	proefw.			
Sabine	V	2G3	7,5	3,3	5,1	3A1	4,9	8,0	-	5,5	4,0	4,0	6,2
Anja	V	2A1	7,0	7,2	5,5	3A1	6,1	-	7,5	9,2	-	7,0	-
Jesse	M	2HA1	6,0	4,9	6,8	3A1	5,4	8,0	7,5	5,4	5,0	6,5	7,7
Britt	V	2A1	7,5	7,8	8,8	3A1	7,5	8,0	8,5	9,2	4,0	5,5	6,5
Daisy	V	2A1	7,0	6,9	7,5	3A1	6,3	8,0	8,5	9,4	3,5	4,5	6,5
Annette	V	2A1	7,5	7,5	7,7	3A1	6,4	8,0	7,5	9,6	5,5	6,0	6,2
Jacomina	V	2A1	7,5	4,7	7,0	3A1	5,0	8,0	-	8,8	-	4,0	7,2
Hosnia	V	2A1	6,0	5,5	7,3	3A1	6,0	8,0	8,0	9,2	4,5	6,0	7,7
Lea	V	2G2	6,0	8,0	6,8	3A1	5,2	8,0	-	6,7	-	7,0	8,2
Niels	M	2HA1	6,5	5,2	7,6	3A1	7,7	7,0	7,5	8,3	6,0	6,0	8,3
Eva	V	2G1	7,0	8,8	6,9	3A1	5,2	8,0	-	5,6	5,0	5,0	8,2
Marjolein	V	2A1	7,5	9,2	8,4	3A1	6,1	8,0	8,0	9,3	6,0	5,5	8,0
Laura	V	2A1	7,0	6,6	7,4	3A1	6,1	8,5	8,0	8,8	4,5	5,5	-
Thari	V	2A1	7,0	8,0	7,2	3A1	5,4	8,0	-	5,6	4,5	5,0	5,7
Jordy	M	2A1	8,0	8,3	8,5	3A1	7,4	7,0	7,5	9,5	6,0	8,0	8,0
Nicole	V	2A1	7,5	8,9	7,9	3A1	7,1	8,5	8,0	8,4	8,0	8,5	8,2
Shera	V	2A1	6,0	9,4	8,9	3A1	8,6	8,5	8,0	-	4,5	-	-
Daan	M	2A1	7,0	9,2	8,1	3A1	6,8	8,0	8,0	7,6	7,5	7,0	8,3
Wouter	M	2A1	7,0	8,3	8,3	3A1	7,2	8,5	8,0	9,4	7,0	7,5	6,3
Tim	M	2A1	7,0	6,9	6,4	3A1	5,8	8,5	8,0	8,1	4,0	5,0	5,5
Liese	V	2A1	7,0	8,9	8,4	3A1	7,2	8,0	8,0	9,8	6,0	5,5	6,5
Iris V.	V	2A1	7,0	8,6	7,7	3A1	6,9	8,0	7,5	9,4	5,5	5,0	6,3
Iris W.	V	2A1	7,0	7,8	7,8	3A1	7,2	8,0	7,5	9,2	5,5	-	-
Rick	M	2A1	8,0	7,5	7,8	3A1	7,1	8,0	7,5	9,0	5,0	7,5	9,0
Kees	M	2A1	5,5	8,0	7,8	3A1	7,3	8,0	7,5	9,6	6,0	7,5	7,3
Arjen	M	2A1	8,0	8,6	8,2	3A1	6,8	8,0	8,0	8,2	4,5	5,5	8,3
Mike	M	2HA1	6,5	7,8	8,0	3A1	7,6	7,0	7,5	7,2	6,0	5,5	-
Robin	M	2HA1	7,0	6,3	7,3	3A1	6,2	8,0	8,0	8,5	4,0	4,5	8,3
Hugo	M	2HA2	6,0	7,2	6,0	3A1	5,3	8,0	7,5	6,4	4,5	5,0	-
Marèl	V	2A1	7,0	7,2	7,8	3A1	6,5	8,0	8,0	8,2	5,5	5,5	5,8
Amber	V	2HA1	5,0	6,3	6,1	3A1	5,9	8,0	8,0	9,2	6,5	6,0	7,8
Mark	M	2A1	7,0	8,9	7,9	3A1	6,8	8,0	7,5	9,8	6,0	7,5	8,8
Bas	M	2A1	5,5	9,2	7,6	3A1	6,3	8,0	7,5	7,5	3,5	7,0	7,3

naam	geslacht	tweede klas ...				derde klas ...					pre-test	post-test	post-kaart
		klas	pract.	proefw.	eindrapp.	klas	1e rapp.	pract. 1	pract. 2	proefw.			
Myrthe	V	-	-	-	-	3A2	7,3	8,0	7,5	8,6	7,5	7,0	-
Rik	M	2HA1	5,5	8,3	7,9	3A2	7,9	8,0	7,5	-	6,0	5,0	-
Tatewik	V	2HA1	6,0	3,8	5,6	3A2	5,2	7,0	8,0	3,6	-	3,5	-
Christine	V	2HA1	7,5	4,4	6,2	3A2	6,2	-	7,5	7,3	4,5	4,5	-
Marloes	V	2HA1	7,5	7,2	7,1	3A2	7,2	7,5	8,0	6,6	2,5	-	-
Katrina	V	2HA2	7,5	6,3	6,6	3A2	6,6	8,0	8,0	6,9	4,0	4,0	-
Melvin	M	2HA2	6,0	7,4	6,9	3A2	7,3	8,0	8,0	6,8	-	7,5	-
Daniëlle	V	2HA1	7,5	6,9	6,7	3A2	6,7	7,5	8,0	8,2	4,0	4,5	-
Manuela	V	2HA1	7,5	5,2	7,0	3A2	5,5	8,0	7,0	7,4	4,0	6,0	-
Britt	V	2HAS1	7,5	5,8	7,0	3A2	6,3	8,0	8,0	7,7	7,0	5,0	-
Koen	M	2HAS1	6,5	5,2	7,1	3A2	5,7	8,0	8,0	8,1	4,0	3,5	-
Zander	M	2G2	-	6,8	7,1	3A2	5,4	-	-	-	6,0	8,0	-
Miranda	V	2HA1	5,5	5,8	6,6	3A2	6,2	8,0	8,0	5,8	4,5	4,5	-
Helene	V	2HA1	7,5	6,1	7,1	3A2	6,3	7,5	8,0	6,4	3,5	3,0	-
Marije	V	2HA2	7,0	6,9	6,9	3A2	7,1	7,5	8,0	7,1	5,0	5,5	-
Daan	M	2HAS1	7,5	6,3	7,5	3A2	5,5	-	-	8,0	7,0	6,0	-
Ruben	M	2HAS1	7,5	4,7	7,1	3A2	5,5	8,0	-	7,8	3,0	2,5	-
Lorraine	V	2HA2	7,0	6,3	6,5	3A2	6,0	8,0	7,0	-	2,5	3,0	-
Fenne	V	2HA2	7,0	5,5	7,3	3A2	5,9	8,0	8,0	4,2	3,5	3,5	-
Marit	V	2HA2	7,5	5,8	7,0	3A2	6,5	8,0	5,5	6,1	4,0	3,5	-
Iris	V	2HA2	7,0	6,3	6,7	3A2	5,8	8,0	7,5	9,0	5,5	6,0	-
Sibel	V	2HA2	-	-	7,5	3A2	7,5	7,5	8,0	9,0	4,0	4,0	-
Wouter	M	2G2	-	4,5	6,3	3A2	6,3	8,0	8,0	7,9	5,0	6,0	-
Anieke	V	2HA2	7,0	7,8	7,5	3A2	7,6	8,0	5,5	6,6	4,5	5,0	-
Jennifer	V	2HA2	7,5	7,2	7,8	3A2	7,6	7,5	7,5	8,8	2,5	3,0	-
Tessel	V	2HA2	7,5	6,9	7,4	3A2	7,1	8,0	8,0	6,8	4,0	4,5	-
Sofie	V	2HA2	6,5	6,3	6,9	3A2	6,7	8,0	8,0	-	-	-	-
Tom	M	2HA2	6,5	6,9	7,0	3A2	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	-
Afra	V	2HA2	7,5	6,9	7,2	3A2	5,9	8,0	-	7,8	6,5	5,5	-
Amber	V	2HA2	6,5	6,1	7,0	3A2	6,5	7,5	8,0	8,6	4,0	4,5	-
Renske	V	2HA2	7,0	7,2	7,2	3A2	6,8	7,5	8,0	7,1	3,0	4,5	-
Inoka	V	-	-	-	-	3A2	6,0	7,5	8,0	-	7,5	6,0	-

Tabel D.2: Gegevens en cijfers 3A2

Tabel D.3: Resultaten pre-test 3A1

naam	antwoord vraag ...																		aantal gokjes	cijfer vragen ...			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		totaal	2V	3V	overig
Sabine	b	b	b	b	a	c	a	a	b	b	a	c	b	a	c	b	d	a	0	4,0	5,1	4,0	1,0
Anja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jesse	c	b	b	b	a	c	a	a	c	b	a	a	c	a	c	a	b	b	1	5,0	5,9	4,0	3,3
Britt	a	b	c	b	a	c	b	d	b	b	a	a	a	b	b	a	b	b	0	4,0	5,1	1,0	3,3
Daisy	b	b	c	a	c	c	c	d	b	c	c	a	a	c	c	c	d	b	0	3,5	3,5	4,0	3,3
Annette	a	b	b	b	c	c	b	b	b	b	b	a	a	a	c	b	d	b	0	5,5	6,7	4,0	3,3
Jacomina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hosnia	b	b	b	b	a	c	b	d	b	c	b	a	a	a	c	b	d	a	0	4,5	5,1	4,0	3,3
Lea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Niels	c	b	c	b	a	c	b	b	b	c	a	b	c	a	c	b	b	b	0	6,0	5,9	7,0	5,5
Eva	a	b	b	b	c	c	c	d	b	c	b	a	a	a	c	a	c	b	0	5,0	5,1	4,0	5,5
Marjolein	b	b	b	b	c	c	b	a	b	b	c	a	c	c	b	b	c	b	6	6,0	7,5	4,0	3,3
Laura	a	c	b	b	c	c	c	b	c	b	b	a	a	c	c	a	d	b	5	4,5	5,9	1,0	3,3
Thari	a	b	b	b	a	c	c	d	b	b	b	a	a	a	c	b	b	c	6	4,5	5,1	4,0	3,3
Jordy	a	b	b	b	c	c	c	b	a	b	b	a	a	a	c	b	b	b	1	6,0	7,5	4,0	3,3
Nicole	a	c	b	b	c	c	a	d	a	c	c	c	c	a	c	b	b	b	1	8,0	8,4	7,0	7,8
Shera	b	b	b	b	a	a	b	d	a	c	b	a	a	a	c	a	a	b	3	4,5	5,1	4,0	3,3
Daan	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	a	a	a	c	a	b	c	b	0	7,5	9,2	1,0	7,8
Wouter	a	b	b	b	a	c	c	a	c	c	b	a	c	a	a	b	b	b	0	7,0	6,7	4,0	10,0
Tim	b	c	a	b	a	c	a	a	c	c	c	a	a	c	c	a	c	c	0	4,0	4,3	4,0	3,3
Liese	b	a	b	b	c	c	b	a	c	c	a	c	a	c	c	b	b	b	3	6,0	8,4	1,0	3,3
Iris V.	b	b	c	b	c	c	b	a	b	c	b	a	c	a	c	a	c	b	0	5,5	5,9	4,0	5,5
Iris W.	b	b	b	b	c	c	b	b	b	c	b	a	a	a	c	b	c	b	0	5,5	6,7	4,0	3,3
Rick	a	b	b	b	c	a	b	a	b	b	b	a	b	b	c	b	d	b	0	5,0	6,7	1,0	3,3
Kees	c	a	b	b	c	c	a	a	a	b	a	a	c	c	a	b	b	c	5	6,0	7,5	1,0	5,5
Arjen	b	b	b	b	a	a	b	d	b	b	b	a	a	a	c	b	b	b	0	4,5	5,9	4,0	1,0
Mike	a	b	b	b	c	c	c	a	b	b	c	a	c	b	c	b	b	c	0	6,0	6,7	4,0	5,5
Robin	b	b	b	b	a	c	b	b	c	b	b	a	a	a	c	b	d	c	0	4,0	5,1	4,0	1,0
Hugo	a	b	b	b	a	c	c	d	b	c	b	c	a	c	c	b	b	a	0	4,5	5,1	1,0	5,5
Marèl	a	b	c	b	c	c	c	d	a	b	a	a	a	a	c	b	b	b	0	5,5	6,7	4,0	3,3
Amber	a	c	a	b	c	c	b	b	a	c	b	a	a	a	c	b	d	b	2	6,5	7,5	4,0	5,5
Mark	a	a	b	b	c	a	a	a	a	b	a	c	c	a	c	b	c	b	5	6,0	6,7	4,0	5,5
Bas	b	b	b	b	a	a	c	d	b	b	a	a	c	a	c	b	d	c	3	3,5	3,5	4,0	3,3
	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	c	b	c	a	a	b	b	b		10	10	10	10

naam	antwoord vraag ...																		aantal gokjes	cijfer vragen ...			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		totaal	2V	3V	overig
Myrthe	a	c	b	b	c	c	b	d	a	c	b	c	c	a	c	b	d	b	1	7,5	8,4	4,0	7,8
Rik	a	a	b	b	c	c	b	b	c	c	b	a	a	a	c	b	d	b	0	6,0	6,7	4,0	5,5
Tatewik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Christine	c	b	b	b	a	c	c	a	b	c	b	a	a	a	b	a	d	b	0	4,5	5,1	4,0	3,3
Marloes	b	b	c	a	a	c	c	d	b	b	b	a	c	c	c	b	a	c	4	2,5	2,6	1,0	3,3
Katrina	b	b	c	b	a	b	b	d	a	c	b	b	a	c	c	b	d	c	1	4,0	4,3	4,0	3,3
Melvin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daniëlle	b	b	b	b	a	c	a	b	b	b	b	a	b	a	c	b	c	b	3	4,0	5,1	4,0	1,0
Manuela	b	b	b	b	a	c	c	d	b	a	b	c	b	a	b	a	b	b	3	4,0	5,1	4,0	1,0
Britt	a	b	b	b	c	c	a	a	b	c	c	b	a	a	c	b	d	b	0	7,0	6,7	10,0	5,5
Koen	b	b	c	b	a	c	c	a	c	b	b	c	a	a	b	a	b	b	2	4,0	5,1	4,0	1,0
Zander	a	b	b	b	c	a	a	b	a	c	c	c	a	a	c	b	c	b	0	6,0	5,9	7,0	5,5
Miranda	b	b	c	b	c	c	c	d	b	c	b	a	c	a	c	a	c	b	0	4,5	4,3	4,0	5,5
Helene	c	b	c	b	a	c	c	b	b	c	b	c	b	b	c	b	c	b	2	3,5	4,3	1,0	3,3
Marije	a	b	b	b	c	c	c	a	b	b	b	a	a	a	c	b	d	c	0	5,0	5,9	4,0	3,3
Daan	a	b	b	b	c	a	a	a	a	c	c	b	a	a	c	b	c	b	0	7,0	6,7	10,0	5,5
Ruben	b	b	c	b	a	c	c	d	c	b	b	c	a	c	a	a	d	b	0	3,0	3,5	1,0	3,3
Lorraine	a	b	a	a	a	a	c	b	b	c	b	a	b	c	c	b	d	c	0	2,5	1,8	1,0	5,5
Fenne	b	b	c	b	a	c	b	b	b	b	a	a	c	b	c	b	d	c	0	3,5	4,3	1,0	3,3
Marit	a	b	c	b	b	c	c	d	c	c	b	a	a	a	c	b	d	c	8	4,0	3,5	4,0	5,5
Iris	b	b	b	b	c	c	a	d	b	b	b	a	c	a	c	b	b	b	0	5,5	6,7	4,0	3,3
Sibel	b	b	b	b	a	c	a	b	b	b	b	a	c	a	c	b	c	c	2	4,0	4,3	4,0	3,3
Wouter	b	b	b	a	c	a	c	a	a	c	a	a	b	a	c	b	d	b	0	5,0	5,9	4,0	3,3
Anieke	b	a	b	b	c	c	c	d	b	c	b	a	c	a	c	c	c	c	5	4,5	4,3	4,0	5,5
Jennifer	b	b	a	a	a	c	c	d	c	b	c	b	a	c	c	a	d	c	9	2,5	1,8	7,0	1,0
Tessel	b	b	b	b	a	c	a	b	b	c	b	a	b	c	c	b	d	b	5	4,0	5,1	1,0	3,3
Sofie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tom	a	b	b	b	c	c	b	a	c	c	b	a	c	a	c	b	b	c	0	7,0	7,5	4,0	7,8
Afra	a	b	b	b	c	c	a	a	b	c	c	a	a	a	c	b	d	b	0	6,5	6,7	7,0	5,5
Amber	b	b	b	b	c	c	a	a	b	a	b	c	a	c	c	b	d	c	0	4,0	5,9	1,0	1,0
Renske	a	b	a	b	c	c	c	b	b	b	b	c	b	c	c	a	d	c	0	3,0	3,5	1,0	3,3
Inoka	a	a	b	b	a	c	b	a	b	c	c	b	c	a	c	b	d	b	0	7,5	6,7	10,0	7,8
	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	c	b	c	a	a	b	b	b		10	10	10	10

Tabel D.4: Resultaten pre-test 3A2

Tabel D.5: Resultaten pre-kaart 3A1

naam	met	aantal begrippen bij ...								soort kaart bij ...						bevat antwoord op vraag ...							
		licht	straling	kleur	richting	zien	schaduw	lichtbron	gemiddeld	straling	kleur	richting	zien	schaduw	lichtbron	gemiddeld	4	5	7	9	10	16	18
Rick	Mark	6	8	9	4	1	1	1	4,0	4	5	2	1	1	1,0	2,3	0,5	0	0	0	0	1	0
Niels	Arjen	6	5	9	6	2	4	2	4,7	4	5	4	3	4	3,0	3,8	0,5	0	0	0	0,5	1	0
Daan	Mike	6	9	5	12	2	1	1	5,0	1	4	4	3	1	1,0	2,3	0,5	0	1	1	0,5	1	1
Marjolein	Hosnia	6	3	10	9	2	4	4	5,3	4	4	4	3	4	5,0	4,0	0,5	1	0	1	0	1	1
Kees	Bas	6	8	9	10	1	1	3	5,3	4	5	4	1	1	4,0	3,2	0,5	1	0	1	0,5	1	0
Marèl	Amber	6	4	6	10	3	5	4	5,3	5	4	4	4	5	4,0	4,3	0,5	1	0,5	1	0	1	0,5
Bas	Kees	6	8	9	10	1	1	3	5,3	4	5	4	1	1	4,0	3,2	0,5	1	0	1	0,5	1	0
Sabine	Lea	6	12	7	7	2	3	3	5,7	5	3	4	3	4	4,0	3,8	0,5	1	0	0	0,5	1	0
Annette	Nicole	8	9	15	7	2	1	1	5,8	5	5	5	3	1	1,0	3,3	0,5	0	0	0	1	0	0
Robin	Hugo	6	10	10	6	2	4	3	5,8	4	4	5	3	4	4,0	4,0	0,5	0,5	0	0	0,5	1	0
Jacomina	Thari	6	10	9	6	2	5	5	6,2	5	5	5	3	4	5,0	4,5	0	1	0	0	0	1	1
Liese	Eva	4	13	7	11	4	1	1	6,2	5	5	2	5	2	2,0	3,5	1	0	0	1	0,5	1	0
Daisy	Britt	6	10	9	10	2	6	3	6,7	5	5	5	3	5	4,0	4,5	1	1	0	1	0	1	0
Jesse	Jordy	3	9	10	12	3	6	1	6,8	4	5	5	2	2	1,0	3,2	0,5	0	0	1	0,5	0	0
Iris V.	Iris W.	6	8	12	10	3	6	6	7,5	5	5	5	3	5	5,0	4,7	0	1	0	1	0,5	1	1
Wouter	Tim	6	9	15	16	4	2	1	7,8	5	5	5	5	3	1,0	4,0	1	0	0,5	1	0,5	1	1
Laura	Shera	0	9	14	16	6	13	5	10,5	5	2	2	2	2	2,0	2,5	0,5	1	0	1	0,5	0	1
Anja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

soort kaart = (1) leeg (2) onvolledig (3) keten (4) spaak (5) net

naam	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sabine	x	kun je	lens	reëel	door lens heen	afstand	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte en vorm
Anja	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jesse	onzichtbaar licht	veroorzaakt	lens	reëel	door lens heen	afstand	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte
Britt	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	$N = b / v$	$N = AA^* / BB^*$	b'afstand
Daisy	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	$N = b / v$	$N = AA^* / BB^*$	b'afstand
Annette	onzichtbare straling	kun je	lens	reëel	op een computer	beeldafstand	voorwerpsafstand	beeldafstand	bolling
Jacomina	onzichtbaar licht	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	bolling
Hosnia	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	afstand
Lea	onzichtbaar	zorgt voor	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	bolling
Niels	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	vorm
Eva	onzichtbaar	zorgt voor	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	bolling
Marjolein	onzichtbaar licht	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	afstand
Laura	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thari	x	kun je	lens	reëel	door lens heen	afstand	voorwerpsafstand	beeldafstand	dikte en vorm
Jordy	onzichtbaar licht	veroorzaakt	lens	reëel	door lens heen	afstand	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte
Nicole	onzichtbare straling	kun je	lens	reëel	door lens heen	beeldafstand	beeldafstand	voorwerpsafstand	b'afstand
Shera	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daan	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	vorm
Wouter	onzichtbaar	kun je	lens	voorwerp	op een dia	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	bolling
Tim	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	3D	grootte voorwerp	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte
Liese	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	$N = b / v$	$N = AA^* / BB^*$	b'afstand
Iris V.	stralingsspectrum	kun je	lens	reëel	door lens heen	beeldafstand	voorwerpsafstand	beeldafstand	b'afstand
Iris W.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rick	onzichtbare straling	is nodig voor	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte
Kees	onzichtbaar licht	kun je	b'afstand	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	brandpunt
Arjen	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	vorm
Mike	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Robin	onzichtbaar	kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	vorm
Hugo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marèl	onzichtbaar licht	daardoor kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	grootte beeld	grootte voorwerp	dikte
Amber	onzichtbaar licht	daardoor kun je	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	dikte
Mark	zichtbare straling	is nodig voor	lens	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	bolling
Bas	onzichtbaar licht	kun je	b'afstand	reëel	door lens heen	vergroting	beeldafstand	voorwerpsafstand	brandpunt

Tabel D.6: Resultaten post-kart 3A1 (1)

Tabel D.7 : Resultaten post-kaart 3A1 (2)

naam	10	11	12	13	14	15	16	17	18	cijfer
Sabine	divergent	doorlating	diffuus	spiegelend	kaatst terug	is	x	spiegel	x	6,2
Anja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jesse	divergent	breking	diffuus	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	7,7
Britt	divergent	doorlating	oog	spiegelend	x	is	normaallijn	achter de spiegel	x	6,5
Daisy	divergent	doorlating	oog	spiegelend	x	is	normaallijn	achter de spiegel	x	6,5
Annette	divergent	breking	weerkaatsend	spiegelend	geeft	is	normaallijn	in de spiegel	groter dan	6,2
Jacomina	divergent	adsorptie	x	spiegelend	heeft	is	normaallijn	x	x	7,2
Hosnia	divergent	breking	x	spiegelend	kaatst terug	is	normaallijn	in de spiegel	tegenover	7,7
Lea	divergent	breking	x	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,2
Niels	divergent	breking	lens	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,3
Eva	divergent	breking	x	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,2
Marjolein	divergent	breking	diffuus	spiegelend	kaatst terug	is	normaallijn	in de spiegel	tegenover	8,0
Laura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thari	divergent	doorlating	diffuus	spiegelend	kaatst terug	is	x	in de spiegel	op zelfde afstand als	5,7
Jordy	divergent	breking	diffuus	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	op zelfde afstand als	8,0
Nicole	divergent	breking	weerkaatsend	spiegelend	geeft	is	normaallijn	achter de spiegel	tegenover	8,2
Shera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daan	divergent	breking	lens	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,3
Wouter	divergent	doorlating	weerkaatsend	spiegelend	heeft	is	normaallijn	op de spiegel	lijkt op	6,3
Tim	divergent	adsorptie	lens	spiegelend	wordt bepaald	is	lichtstraal tot lens	op de spiegel	lijkt op	5,5
Liese	divergent	doorlating	oog	spiegelend	x	is	normaallijn	achter de spiegel	x	6,5
Iris V.	divergent	breking	weerkaatsend	spiegelend	geeft	is	normaallijn	achter de spiegel	x	6,3
Iris W.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rick	divergent	breking	diffuus	spiegelend	geeft	is	normaallijn	achter de spiegel	zelfde kleur als	9,0
Kees	divergent	breking	lens	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	7,3
Arjen	divergent	breking	x	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,3
Mike	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Robin	divergent	breking	x	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	8,3
Hugo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Marèl	divergent	adsorptie	licht	spiegelend	kan zijn	is	normaallijn	in de spiegel	tegenover	5,8
Amber	divergent	breking	licht	spiegelend	veroorzaakt	is	normaallijn	in de spiegel	tegenover	7,8
Mark	divergent	breking	diffuus	spiegelend	geeft	is	normaallijn	achter de spiegel	spiegelbeeld van	8,8
Bas	divergent	breking	lens	spiegelend	heeft	is	normaallijn	achter de spiegel	even groot als	7,3

naam	antwoord vraag ...																		aantal	cijfer vragen ...			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	gokjes	totaal	2V	3V	overig
Sabine	c	b	b	b	a	a	b	b	c	c	a	c	a	a	c	b	c	c	0	4,0	4,3	4,0	3,3
Anja	a	b	b	b	c	c	b	a	b	c	b	a	a	a	c	b	b	b	0	7,0	8,4	4,0	5,5
Jesse	a	b	b	b	a	c	a	a	a	b	b	b	c	a	c	a	b	b	0	6,5	6,7	7,0	5,5
Britt	a	b	c	b	a	a	b	a	b	b	b	c	c	a	b	b	b	b	0	5,5	5,9	4,0	5,5
Daisy	b	b	b	a	c	c	b	a	b	b	a	c	a	a	c	b	c	c	0	4,5	5,9	4,0	1,0
Annette	a	b	b	b	c	c	b	b	c	b	b	a	a	a	c	b	b	b	0	6,0	7,5	4,0	3,3
Jacomina	a	b	a	a	a	c	c	a	b	c	b	a	c	a	c	c	d	c	0	4,0	2,6	4,0	7,75
Hosnia	b	b	a	b	a	c	b	d	a	c	b	b	a	a	c	b	b	b	0	6,0	6,7	7,0	3,3
Lea	a	b	b	b	c	a	b	a	c	b	b	b	c	a	c	b	b	b	0	7,0	7,5	7,0	5,5
Niels	a	b	b	b	c	a	b	b	b	c	b	a	b	a	c	b	b	b	0	6,0	6,7	4,0	5,5
Eva	a	b	c	b	b	c	b	d	a	c	b	a	a	a	c	a	b	c	0	5,0	5,1	4,0	5,5
Marjolein	b	b	a	b	c	c	b	a	b	b	a	a	c	a	c	b	d	b	4	5,5	6,7	4,0	3,3
Laura	a	c	b	b	c	c	a	b	c	b	b	a	a	a	c	b	c	b	0	5,5	6,7	4,0	3,3
Thari	a	a	b	b	a	c	a	d	c	b	b	b	c	a	c	b	d	c	4	5,0	4,3	7,0	5,5
Jordy	a	b	b	b	c	c	b	a	a	b	b	b	c	a	c	b	b	b	0	8,0	9,2	7,0	5,5
Nicole	a	c	b	b	c	c	a	a	a	c	c	a	c	a	c	b	b	b	3	8,5	9,2	7,0	7,8
Shera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daan	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	a	b	a	a	a	b	d	c	1	7,0	7,5	7,0	5,5
Wouter	a	b	b	b	a	c	c	a	a	c	c	a	c	a	c	b	b	b	1	7,5	7,5	7,0	7,8
Tim	a	b	b	b	a	c	a	a	c	b	c	a	c	a	c	a	a	c	1	5,0	4,3	7,0	5,5
Liese	c	a	b	b	c	b	a	a	c	b	b	b	a	a	c	b	b	b	1	5,5	6,7	7,0	1,0
Iris V.	b	b	b	b	c	c	b	d	b	b	b	a	a	a	c	b	c	b	1	5,0	6,7	4,0	1,0
Iris W.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rick	a	c	b	b	c	c	b	a	a	b	b	b	b	a	c	b	d	b	0	7,5	9,2	7,0	3,3
Kees	a	b	b	b	c	c	b	a	a	b	a	b	c	c	c	b	b	b	0	7,5	9,2	4,0	5,5
Arjen	a	b	c	b	a	a	b	b	a	b	b	b	c	a	c	b	b	c	1	5,5	5,1	7,0	5,5
Mike	a	b	b	b	a	c	c	a	c	b	b	a	c	a	c	a	b	b	2	5,5	5,9	4,0	5,5
Robin	a	b	b	b	a	c	b	d	b	b	b	a	a	a	c	b	d	c	0	4,5	5,1	4,0	3,3
Hugo	a	b	b	b	a	c	b	d	b	c	b	a	a	c	c	b	b	c	0	5,0	5,9	1,0	5,5
Marèl	a	c	c	b	b	a	c	a	b	b	b	c	c	a	c	b	b	b	0	5,5	5,9	4,0	5,5
Amber	a	c	a	b	a	a	c	a	b	c	b	c	c	a	c	b	b	b	0	6,0	5,9	4,0	7,8
Mark	a	b	b	b	c	a	b	a	a	b	b	b	c	a	c	b	b	b	0	7,5	8,4	7,0	5,5
Bas	a	b	b	b	a	c	b	a	a	b	a	a	c	a	c	b	b	b	0	7,0	8,4	4,0	5,5
	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	c	b	c	a	a	b	b	b		10	10	10	10

Tabel D.8: Resultaten post-test 3A1

Tabel D.9: Resultaten post-test 3A2

naam	antwoord vraag ...																		aantal gokjes	cijfer vragen ...			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		totaal	2V	3V	overig
Myrthe	a	b	b	b	c	a	b	a	a	c	c	a	b	a	c	b	a	b	0	7	7,5	7	5,5
Rik	a	a	b	b	c	c	a	b	c	b	b	a	a	a	c	b	d	b	0	5	5,9	4	3,25
Tatewik	a	b	a	b	a	c	a	d	b	b	b	a	b	a	b	a	d	b	1	3,5	3,5	4	3,25
Christine	b	b	b	b	a	a	c	b	b	c	b	a	a	a	c	b	b	b	0	4,5	5,1	4	3,25
Marloes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Katrina	b	c	b	b	a	c	b	b	c	b	b	a	a	c	c	b	d	c	0	4	5,9	1	1
Melvin	a	c	b	b	c	c	b	a	a	b	b	a	c	a	c	b	a	b	2	7,5	9,2	4	5,5
Daniëlle	b	c	b	b	a	c	c	b	b	b	b	a	b	c	c	b	b	b	0	4,5	6,7	1	1
Manuela	c	c	b	b	a	c	c	a	c	c	c	c	a	a	a	a	b	c	0	6	5,9	7	5,5
Britt	a	b	b	b	a	c	a	a	b	c	b	a	a	a	c	b	c	c	0	5	5,1	4	5,5
Koen	b	b	c	b	a	c	c	d	b	b	b	c	a	a	c	b	a	b	0	3,5	4,3	4	1
Zander	a	b	b	b	c	c	a	a	a	c	c	b	c	a	c	b	d	b	0	8	7,5	10	7,75
Miranda	b	b	c	b	c	c	c	d	b	b	b	b	a	a	c	b	a	b	0	4,5	5,1	7	1
Helene	b	b	a	b	a	a	c	b	b	b	b	c	a	a	c	b	c	b	0	3	3,5	4	1
Marije	a	b	b	b	c	c	c	d	b	c	b	a	c	a	c	b	d	c	0	5,5	5,1	4	7,75
Daan	a	b	b	b	c	c	a	a	c	c	b	a	a	a	c	b	c	b	0	6	6,7	4	5,5
Ruben	b	b	b	b	b	a	a	d	c	b	b	a	a	c	c	a	a	b	1	2,5	3,5	1	1
Lorraine	a	b	a	b	a	a	c	b	b	b	b	a	b	a	c	b	d	c	1	3	2,6	4	3,25
Fenne	b	b	a	b	a	c	c	d	b	b	c	a	c	b	c	b	a	c	0	3,5	3,5	4	3,25
Marit	a	b	b	b	a	a	c	d	b	b	b	a	a	a	c	b	d	c	1	3,5	3,5	4	3,25
Iris	b	b	b	b	c	c	a	a	b	b	b	b	c	a	c	b	d	b	0	6	6,7	7	3,25
Sibel	b	b	b	b	a	c	c	b	b	b	b	a	a	a	c	b	b	c	0	4	5,1	4	1
Wouter	a	b	b	b	c	a	c	a	a	c	b	a	a	a	c	b	d	b	0	6	6,7	4	5,5
Anieke	a	b	b	b	c	c	c	d	b	b	b	c	c	a	c	b	a	c	4	5	5,1	4	5,5
Jennifer	b	b	a	a	a	a	b	d	b	c	b	a	a	a	c	a	b	c	2	3	2,6	4	3,25
Tessel	a	b	b	b	a	c	a	b	c	c	b	a	b	c	c	b	d	b	5	4,5	5,1	1	5,5
Sofie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tom	a	b	b	b	c	a	b	a	a	b	b	b	c	a	c	b	b	c	0	7	7,5	7	5,5
Afra	a	b	b	b	c	c	a	a	b	c	b	a	a	a	c	b	c	c	0	5,5	5,9	4	5,5
Amber	b	b	b	b	c	c	c	a	b	b	b	a	a	c	c	b	a	b	0	4,5	6,7	1	1
Renske	a	b	b	b	c	a	c	d	a	c	b	c	a	a	c	a	d	c	0	4,5	4,3	4	5,5
Inoka	a	b	b	b	a	c	b	d	a	b	b	a	c	a	c	b	d	b	0	6	6,7	4	5,5
	a	c	b	b	c	c	b	a	a	c	c	b	c	a	a	b	b	b		10	10	10	10

naam	natuurkunde is ...		optica is ...		... is leuk					... is nuttig					gebruik kaarten nuttig ... lessen		
	moeilijk	leuk	moeilijk	leuk	uitleg	stencils	sommen	practica	kaarten	uitleg	stencils	sommen	practica	kaarten	begin	tijdens	eind
Sabine	4	2	3	1	1	2	2	4	3	2	3	2	4	4	2	3	3
Anja	1	4	2	3	3	3	3	4	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Jesse	3	2	3	3	3	3	2	3	2	4	3	3	3	2	3	3	3
Britt	3	2	3	2	3	2	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4
Daisy	4	3	4	3	3	3	4	3	2	4	4	4	4	3	3	3	4
Annette	2	3	3	2	4	4	3	4	1	4	4	4	4	1	2	1	1
Jacomina	3	2	3	2	4	3	3	4	4	4	2	3	3	4	1	4	4
Hosnia	4	2	3	3	4	3	2	2	3	4	4	2	1	2	4	3	1
Lea	4	2	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4
Niels	2	3	3	2	2	3	2	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4
Eva	4	2	3	3	3	3	2	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4
Marjolein	4	1	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	4	1	2
Laura	4	1	4	1	1	1	2	3	1	4	3	4	4	1	1	1	1
Thari	3	1	2	2	3	3	1	4	3	4	3	3	2	3	4	3	4
Jordy	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
Nicole	3	3	3	3	3	3	2	4	3	3	3	3	4	3	2	2	4
Shera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daan	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4
Wouter	2	4	2	3	3	3	3	4	2	4	3	4	4	3	4	4	4
Tim	3	2	2	3	3	-	2	4	2	3	1	3	4	3	2	4	4
Liese	2	3	2	3	3	3	4	4	2	3	3	3	4	2	1	2	3
Iris V.	3	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	2	3
Iris W.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rick	2	3	1	3	2	2	3	4	3	3	4	4	4	3	3	2	4
Kees	3	3	3	4	4	2	4	3	2	4	3	4	4	3	3	2	4
Arjen	4	1	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	4	2	3	4
Mike	3	3	3	4	3	2	3	4	1	3	2	4	3	1	3	1	2
Robin	4	1	3	2	2	2	1	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3
Hugo	4	1	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Marèl	3	2	3	2	3	2	3	3	2	3	2	4	4	3	3	4	4
Amber	3	3	3	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	4	4	4
Mark	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	4	4	2	4	3	4	4
Bas	3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4

Tabel D.10: Resultaten enquête 3A1 (1)

schaal = (1) helemaal niet mee eens (2) niet zo mee eens (3) beetje mee eens (4) helemaal mee eens

Tabel D.11: Resultaten enquête 3A1 (2)

Wat vind je van begrippenkaarten?	
+	Handig, makkelijk, goed te gebruiken.
	Handig als samenvatting en je leert al veel van als je hem maakt.
	Handig.
	Ik vind het wel handig, want je hebt zo een goede samenvatting die je makkelijk kunt leren.
	Heel handig als een hulpmiddel bij bijvoorbeeld het begin van een hoofdstuk om even op te frissen. Of voor een proefwerk als samenvatting.
	Wel handig.
	Handig als samenvatting. Je weet dan alle belangrijke dingen zonder het hele hoofdstuk te lezen.
	Overzichtelijk.
	Het zijn wel handige samenvattingen.
	Ik vind ze handig als overzicht van het hoofdstuk.
	Ze zijn wel leerzaam en handig om te gebruiken. Het is bovendien een goede samenvatting van het hoofdstuk.
	Ze zijn erg handig als leermiddel. Je hebt snel en duidelijk een goed overzicht van de lesstof.
	Ik vind het heel leerzaam. Je krijgt een goed overzicht van alles en je snapt het weer.
	Ze zijn overzichtelijk. Het geeft je een goed beeld over waar het over gaat.
±	Ik vind ze handig en ze zijn wel leuk.
	Ze geven een mooi overzicht van allerlei onderwerpen die met elkaar verbonden zijn.
	Ze zijn handig als samenvatting van een hoofdstuk. En je leert er dus ook wel goed van.
	Ze zijn handig als je iets niet snapt, maar als je moet leren niet zo. Er staat niet alles op (details) wat je moet weten.
	Ze zijn wel handig als je er goed in bent. Maar ik vind het niet zo heel leuk om er mee te werken.
	Ik vind het wel handig, maar dan moet er niet te veel op staan. Gisteren was dat wel zo, en dan wordt het onoverzichtelijk.
	Het is een handig overzicht, maar om zo'n kaart helemaal uit je hoofd te leren lijkt me lastig.
	We hebben er alleen uitleg over gehad en nooit mee gewerkt. Maar ze lijken me wel handig. [De leerling in kwestie was zowel bij pre als post-kaart aanwezig...]
	Af en toe wel goed, maar een beetje ingewikkeld.
	Soms waren ze handig en leuk om te doen, maar soms ook erg ingewikkeld.
-	Onoverzichtelijk, want er staat te veel op.
	Irritant en het duurt lang om ze te maken.
	Hoe groter, hoe moeilijker te snappen! Duurt langer om te maken dan een samenvatting.
	Saaï.

naam	natuurkunde is ...		optica is ...		... is leuk					... is nuttig					gebruik kaarten nuttig ... lessen		
	moeilijk	leuk	moeilijk	leuk	uitleg	stencils	sommen	practica	kaarten	uitleg	stencils	sommen	practica	kaarten	begin	tijdens	eind
Myrthe	2	1	1	3	1	3	1	4	-	3	3	3	4	-	-	-	-
Rik	1	4	2	1	4	3	3	4	-	4	3	4	4	-	-	-	-
Tatewik	4	4	3	3	4	3	2	4	-	4	4	3	4	-	-	-	-
Christine	4	1	4	2	2	3	1	3	-	4	4	3	3	-	-	-	-
Marloes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Katrina	3	3	2	3	3	3	2	4	-	4	3	2	4	-	-	-	-
Melvin	2	3	3	3	2	3	1	3	-	4	3	2	2	-	-	-	-
Daniëlle	3	3	3	3	2	3	2	2	-	4	4	4	3	-	-	-	-
Manuela	4	3	2	3	3	3	2	4	-	3	3	3	4	-	-	-	-
Britt	4	2	3	3	2	3	2	3	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Koen	4	2	3	3	3	3	2	3	-	3	3	4	3	-	-	-	-
Zander	4	2	3	2	2	2	2	3	-	4	3	4	4	-	-	-	-
Miranda	3	3	3	2	2	3	3	4	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Helene	4	3	2	4	3	4	4	4	-	3	4	4	3	-	-	-	-
Marije	3	4	2	3	2	3	3	4	-	3	3	4	4	-	-	-	-
Daan	4	2	3	3	3	3	2	4	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Ruben	4	2	3	2	3	3	3	3	-	4	3	4	4	-	-	-	-
Lorraine	4	3	2	2	2	2	3	3	-	3	2	3	3	-	-	-	-
Fenne	4	4	2	2	3	3	2	4	-	3	3	3	4	-	-	-	-
Marit	4	1	3	1	3	2	1	3	-	3	3	2	2	-	-	-	-
Iris	3	4	2	4	3	3	3	3	-	3	4	4	4	-	-	-	-
Sibel	3	3	2	3	3	3	4	3	-	4	4	4	3	-	-	-	-
Wouter	3	2	1	2	2	2	2	3	-	4	4	4	4	-	-	-	-
Anieke	4	1	2	2	2	2	2	3	-	3	3	3	2	-	-	-	-
Jennifer	4	2	3	2	3	3	1	4	-	3	2	3	3	-	-	-	-
Tessel	4	2	3	3	3	2	2	4	-	3	3	3	3	-	-	-	-
Sofie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tom	2	4	2	3	3	3	2	4	-	4	3	3	4	-	-	-	-
Afra	4	2	2	2	2	3	2	4	-	2	3	4	3	-	-	-	-
Amber	3	3	3	3	2	3	2	3	-	4	4	3	4	-	-	-	-
Renske	4	3	2	3	3	4	4	4	-	4	3	3	3	-	-	-	-
Inoka	2	4	3	4	4	4	3	4	-	4	4	4	4	-	-	-	-

Tabel D.12: Resultaten enquête 3A2

schaal = (1) helemaal niet mee eens (2) niet zo mee eens (3) beetje mee eens (4) helemaal mee eens

