

---

# ONTWERPONDERBOUWING

...als meetinstrument voor context-concept leren



Namen: Arjan van Leeuwen (1224395)  
Frank Spoor (1365428)  
Vak: SL3311 Onderzoek van Onderwijs  
Datum: februari - augustus 2012  
Begeleiding: M. Jacobs



## SAMENVATTING

September 2013 wordt in het Nederlandse onderwijs de Nieuwe Natuurkunde (NiNa) ingevoerd. Een kernpunt van dit natuurkundecurriculum is de context-concept benadering. Deze benadering dicteert dat abstracte leerstof (concept) wordt afgeleid vanuit een concreet onderwerp (context), terwijl in het huidige onderwijs vaak een concept eerst wordt uitgelegd, gevolgd door verschillende contexten. Onderzoek naar deze lesmethoden wijst echter (nog) geen winnaar aan. Een andere belangrijke vernieuwing is de aandacht voor meer conceptueel inzicht in plaats van opdrachtgericht leren, waarbij de nadruk verschuift van de (wiskundige) probleemaanpak naar begrip van het concept achter een probleem. Het blijkt namelijk uit onderzoek dat leerlingen het daadwerkelijke concept niet altijd volledig doorgronden via het maken van opdrachten, omdat de stof voor hen geen verband heeft met de wereld waarin zij leven.

In dit onderzoek is bestudeerd of een ontwerpopdracht de mogelijkheid biedt om conceptuele leerresultaten van leerlingen te meten voor een inductieve (van context naar concept) en deductieve (van concept naar context) lesmethode. Tevens is de effectiviteit van de lesmethoden voor het internaliseren van natuurkundige concepten onderzocht om te oriënteren op het verschil en ideeën te genereren voor toekomstig onderzoek. Hiertoe hebben 24 leerlingen uit de tweede klas van het voortgezet onderwijs les gekregen over vier aan boten gerelateerde concepten door middel van uitleg en leerlingenonderzoek. De volgorde van deze twee onderdelen bepaalt de lesmethode. De opgedane conceptuele kennis is vervolgens in groepen van drie toegepast in een ontwerp, met als einddoel om een zo snel mogelijke boot te ontwerpen.

De conceptuele leerresultaten van leerlingen zijn met drie verschillende meetinstrumenten bepaald. Er is ten eerste gebruik gemaakt van observaties tijdens de gehele lessenserie om te bepalen of de manier van uitvoeren van leerlingenonderzoek van invloed is op het behaalde leerresultaat. Bovendien bieden observaties gedetailleerd inzicht in de werkwijze en denkwijze van leerlingen. Ten tweede is een conceptentest afgenomen om de conceptuele kennis van de leerlingen te toetsen. Als laatste hebben de leerlingen na het uitvoeren van leerlingenonderzoek naar elk van de vier concepten een ontwerp gemaakt, evenals een eindontwerp, waaruit blijkt of een behandeld concept kan worden toegepast. Hierbij werd gecommuniceerd dat de onderbouwing van het ontwerp minstens zo belangrijk was als het ontwerp zelf. Bovendien werd de leerlingen gevraagd om aan te geven hoe belangrijk ze een concept vonden in hun ontwerp om te testen in welke mate leerlingen zich ook bewust waren van hun eigen conceptuele inzicht. Door de resultaten van deze drie meetinstrumenten via triangulatie te vergelijken zijn uitspraken gedaan over verschillen tussen de inductieve en deductieve lesmethode en het gebruiken van een ontwerpopdracht als meetinstrument voor context-concept leren.

De resultaten leveren in eerste instantie geen eenduidig bewijs op welke lesmethode zorgt voor een beter conceptueel leerresultaat. Gemiddeld volgt uit de resultaten van alle drie de meetinstrumenten een positief, maar voor beide lesmethoden nagenoeg gelijk leerresultaat. Wanneer specifieker naar de resultaten wordt gekeken blijkt echter wel dat leerlingen vaker een bewuste redenering, waarin een concept expliciet wordt genoemd, kunnen geven ter ondersteuning van hun ontwerp of als antwoord op een vraag bij de inductieve lesmethode. Daarnaast waarderen de leerlingen geleerde concepten hoger in de onderbouwing van hun ontwerp bij de inductieve lesmethode. Bovendien wordt leerlingenonderzoek beter uitgevoerd volgens de wetenschappelijke methode bij de inductieve lesmethode, wat vervolgens weer zorgt voor een iets beter leerresultaat. De context-concept benadering lijkt er dus voor te zorgen dat leerlingen zich eerder eigenaar voelen van een concept en daardoor dit concept ook beter kunnen toepassen. Vanwege het oriënterend karakter van dit onderzoek is wel uitgebreider onderzoek met een grotere populatie nodig om de conclusies te bevestigen en verder te generaliseren naar het gehele voortgezet onderwijs.

Een ontwerpopdracht blijkt een goed meetinstrument voor het meten van de mate van internalisering van natuurkundige concepten bij leerlingen. Niet alleen leveren de ontwerpen van leerlingen dezelfde resultaten op als observaties en een conceptentest, maar bovendien geeft de onderbouwing bij een ontwerp meer inzicht in de denkwijze van leerlingen en zorgt de waardering van de concepten bij deze onderbouwing voor een idee van de mate waarin leerlingen zich bewust zijn van hun eigen kennis, wat waardevolle informatie oplevert.



## INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding .....	3
2.	Theoretisch kader .....	5
3.	Methode .....	7
3.1	Populatie.....	7
3.2	Lessenserie .....	8
3.3	Meetinstrumenten .....	10
3.3.1	Operationalisering .....	10
3.3.2	Observaties .....	12
3.3.3	Conceptentest.....	13
3.3.4	Ontwerponderbouwing .....	14
3.4	Triangulatie.....	16
4.	Resultaten.....	17
4.1	Algemene resultaten .....	17
4.1.1	Observaties .....	17
4.1.2	Conceptentest.....	18
4.1.3	Ontwerponderbouwing .....	20
4.2	Individuele resultaten.....	23
5.	Conclusie.....	29
5.1	Algemene triangulatie .....	29
5.2	Individuele triangulatie.....	30
5.3	Eindconclusie.....	31
6.	Discussie & reflectie .....	33
6.1	Discussie .....	33
6.2	Reflectie Arjan .....	34
6.3	Reflectie Frank.....	35
7.	Literatuurlijst .....	37
8.	Bijlage: concepten .....	39
9.	Bijlage: lesinhoud.....	40
10.	Bijlage: conceptentesten .....	45
11.	Bijlage: conceptentest beoordeling.....	46
12.	Bijlage: conceptentest uitslag.....	47
12.	Bijlage: conceptentest uitslag.....	47
13.	Bijlage: ontwerponderbouwing beoordeling.....	48
14.	Bijlage: ontwerponderbouwing uitslag .....	49
15.	Bijlage: werkbladen .....	51
16.	Bijlage: collegesheets .....	53



## 1. INLEIDING

Twee belangrijke methoden voor het leren van ruimtelijke of natuurkundige concepten zijn ervaren door middel van experimenteren en verwerken van theorie door middel van theoretische uitleg en opdrachten. Van oudsher wordt in het voortgezet onderwijs de voorkeur gegeven aan de methode van theoretische uitleg en opdrachten, soms ondersteund door een kort experiment of een demonstratie waarin leerlingen bewijs voor ogen krijgen. Deze methode heeft niet altijd het beoogde effect; het blijkt dat leerlingen na het oefenen van honderden opdrachten nog steeds zeer weinig vooruitgang tonen qua conceptueel begrip (Kim 2002). Bovendien blijkt het leereffect van demonstraties of experimenten waarin de leerlingen niet actief participeren of ervaren wat er gebeurt miniem (W. a. Roth 1997) (Crouch 2004). Tegenwoordig wordt er daarom bij nieuwe lesmethoden steeds meer op ingespeeld dat ervaring zeer belangrijk is voor het internaliseren van natuurkundige concepten. Hier is bijvoorbeeld de Nieuwe Natuurkunde (NiNa) op gebaseerd, die september 2013 ingevoerd zal worden in het Nederlandse onderwijs. De zogenaamde context-concept benadering staat in deze methode centraal, waarbij een leerling eerst de toepassingen of consequenties van een natuurkundig concept beleeft in een bepaalde context, gevolgd door verdere abstractie tot dieper gewortelde conceptuele kennis. Overtuigend bewijs dat de NiNa daadwerkelijk beter werkt dan ouderwetse onderwijstechnieken ontbreekt echter (Weert 2005). Wegens dit gebrek aan eenduidig bewijs worden daarom steeds vaker beide technieken toegepast om een zo goed mogelijk leerresultaat te behalen. In dit onderzoek wordt onderzocht in welke volgorde de beide onderwijsmethoden dan het beste kunnen worden toegepast. Is het behaalde leerresultaat beter bij een inductieve lesmethode, waarbij leerlingen eerst nieuwe concepten kunnen ervaren in een context door middel van onderzoek om vervolgens de theorie aan deze context op te hangen, of bij een deductieve lesmethode, waarbij een nieuw concept eerst theoretisch wordt geïntroduceerd en leerlingen vervolgens experimenteel aan de slag gaan om dit concept zelf te ervaren in een context? Het doel van dit onderzoek is, gezien de complexiteit van het probleem, niet om uitsluitsel te geven aangaande de onderzoeksvraag, maar om te oriënteren op het verschil tussen de twee lesmethoden, zodat het duidelijk is of uitgebreider en nauwkeuriger onderzoek wenselijk is.

Essentieel voor dit onderzoek is het testen van de mate waarin natuurkundige concepten bij leerlingen zijn geïnternaliseerd. Dit blijkt echter zeer lastig. Een veelgebruikte methode is een zogenaamde conceptentest waarin leerlingen antwoord moeten geven op conceptuele vragen. Een goede conceptentest kan zeer bruikbare resultaten opleveren (Hestenes 1992). Een dergelijke test blijkt soms echter ook misleidend; er zijn leerlingen die tijdens het natuurkundeonderwijs een alternatieve wereld naast hun eigen belevingswereld creëren, waarin alleen de natuurkundekennis wordt geplaatst. Het volgende citaat van een leerling ondersteunt deze notie zeer doeltreffend: *"How should I answer these questions? According to what you taught me? Or according to the way I usually think about these things?"* (Mazur 1997). Door leerlingen aan het werk te zetten met een ontwerpopdracht, kan naar verwachting voorkomen worden dat ze antwoord geven op vragen volgens een alternatieve werkelijkheid voor natuurkunde. Een ontwerpopdracht vergt namelijk een hoog niveau van kennis en vindt daardoor plaats in de eigen belevingswereld van leerlingen. Bovendien zorgt ontwerpen dat het mogelijk is om het conceptuele raamwerk van een leerling te bestuderen en zal een leerling vanuit dit conceptuele raamwerk het werk beargumenteren (W. Roth 2001). Een tweede doel van dit onderzoek is daarom om te testen in welke mate voor de inductieve en deductieve lesmethode een ontwerpopdracht geschikt is als meetinstrument dat aangeeft in hoeverre natuurkundige concepten bij leerlingen zijn geïnternaliseerd.

De doelen van dit onderzoek zijn dus kort samen te vatten als:

- Oriëntatie op het verschil tussen inductief en deductief leren.
- Onderzoek naar ontwerpen als meetinstrument.

In dit onderzoek is een ontwerpopdracht van een boot gegeven aan een groep leerlingen uit de tweede klas. Over een lessenserie van acht maal 100 minuten leerden de leerlingen op zowel inductieve als deductieve manier vier natuurkundige concepten die van belang zijn voor een boot, om deze vervolgens toe te passen in het eindontwerp. Via triangulatie van observaties van de werkwijze en resultaten van de leerlingen, een conceptentest en de ontwerponderbouwing van de leerlingen is het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode bestudeerd, evenals de doeltreffendheid van ontwerpen als meetinstrument naar de internalisering van natuurkundige concepten. Voor deze lessenserie is inspiratie opgedaan van het Junior TU

Delft project 'Solar Boat Challenge Junior' (TUD 2011), waarin leerlingen uit de bovenbouw van het voortgezet onderwijs een boot op zonne-energie ontwerpen. Dit programma is echter aangepast qua niveau en materiaal om het beter aan te laten sluiten op leerlingen uit de tweede klas.

Dit onderzoek is uitgevoerd voor het vak Onderzoek van Onderwijs (OvO) als onderdeel van de master Science Education & Communication (de lerarenopleiding) aan de Technische Universiteit Delft. De lessen zijn uitgevoerd aan het Bonaventuracollege te Leiden, vestiging Burggravenlaan, als verbredende themaklas voor de tweede klassen van april tot en met juni 2012.



## 2. THEORETISCH KADER

De manier van lesgeven in het Nederlands voortgezet onderwijs, hier toegespitst op natuurkunde, wordt steeds meer aangepast aan nieuwe inzichten verkregen uit onderzoek naar effectief lesgeven. Traditionele klassikale instructie moet ruimte maken voor zelfstandig werken van leerlingen, actieve participatie in experimenten en contextrijke introductie van conceptuele kennis. Voorbeelden zijn de invoering van het studiehuis in 1998, gericht op meer zelfstandig werken, en de geplande invoering van de Nieuwe Natuurkunde (NiNa) in 2013, gericht op de context-concept benadering. Dit alles moet leiden tot een efficiëntere manier van kennisoverdracht en betere conceptuele kennis van scholieren bij het verlaten van de middelbare school. In de praktijk worden deze technieken echter vaak gecombineerd met klassikale instructie wegens gebrek aan tijd, grote klassen en soms ook inadequate competentie van vakdocenten in de nieuwe lesmethoden. In dit onderzoek wordt de combinatie van verschillende technieken bestudeerd aan de hand van een ontwerpopdracht. Daartoe volgt hier eerst een beknopt overzicht van relevant onderzoek naar onderwijstechnieken, een ontwerpopdracht als onderzoeksmethode en beoordelingscriteria van conceptuele kennis ter ondersteuning van de opzet en uitvoering van het onderzoek.

Het natuurkundeonderwijs leent zich bij uitstek voor zelfstandig werken en demonstraties of experimenten. Zo is immers het vakgebied tot stand gekomen. Deze elementen komen dan ook regelmatig in natuurkundelessen voor. Het leereffect van dergelijke lesonderdelen staat of valt echter met de uitvoering. Zelfstandig werken is het eerste voorbeeld. Toepassing van nieuwe kennis door middel van problemen oplossen wordt bij exacte vakken gezien als essentieel onderdeel van de les, aangezien leerlingen hiermee leren te schakelen tussen de formele en symbolische representatie van de natuurkunde (Ferguson-Hessler 1993). Hier wordt dan ook regelmatig aandacht aan besteed. Sterker nog, veel docenten stimuleren hun leerlingen om zoveel mogelijk problemen op te lossen zodat ze hier geoefend in raken. Het positieve effect van veel problemen oplossen op de conceptuele kennis is echter dubieus. Uit Koreaans onderzoek blijkt dat leerlingen zelfs na het oplossen van 3000 reguliere schoolboek problemen conceptueel weinig extra begrip kregen (Kim 2002). Ze leerden alleen wel beter de vraagstelling herkennen en daarbij de juiste oplossingsstrategie te kiezen, waar ook vaak op getoetst wordt. Gesuggereerd wordt dat minder gestructureerde problemen niet op deze manier op te lossen zijn en veel vaker conceptueel begrip vereisen om tot de juiste oplossing te komen (Shekoyan 2007). Veel realistische natuurkundige problemen zijn van een dergelijke minder gestructureerde aard, zoals ontwerpproblemen (Fortus 2004). Een ontwerpopdracht lijkt dus een betere manier van zelfstandig werken dan reguliere schoolboek problemen. Recent onderzoek naar aanleiding van het eerder genoemde Junior TU Delft project (Arntzen 2012) geeft aan dat het cyclische karakter van ontwerpen, waarbij het ontwerpproces meerdere keren wordt doorlopen, een grote bijdrage levert aan het *“verdiepen van conceptuele kennis”* en dus het nut van ontwerpopdrachten ondersteunt.

Experimenteren en het bekijken van demonstraties passen heel mooi in het natuurkundecurriculum vanwege de motiverende werking en het belang van onderzoekvaardigheden in de exameneisen. Vaak wordt aangenomen dat deze vormen van onderwijs ook een positief effect hebben op het conceptuele begrip van leerlingen. Onderzoek naar de effectiviteit van experimenteren (Berg 1994) en demonstreren (W. a. Roth 1997) (Crouch 2004) wijst echter uit dat dit niet het geval is. Leerlingen ontwikkelen wel onderzoekvaardigheden en bekwaamheid met de gebruikte apparatuur, maar gaan niet vooruit qua begrip van de achterliggende natuurkundige concepten. Er valt wel behoorlijke winst te behalen bij demonstraties door leerlingen actief te betrekken bij het experiment en te laten voorspellen wat er gebeurt, en bij experimenten door de didactiek aan te passen en de nadruk te verplaatsen van het uitvoeren van het experiment naar het begrijpen van het experiment als hoofddoel.

De onderzoeksresultaten die laten zien dat traditionele didactiek bij de verschillende onderdelen van het natuurkundeonderwijs niet werken zijn dus talrijk en overtuigend. Vandaar ook dat de NiNa wordt ingevoerd in 2013. Deze vorm van onderwijs berust op de context-concept benadering; een nieuw concept wordt eerst geïllustreerd aan de hand van een realistische toepassing in het dagelijks leven, alvorens het concept wordt bijgebracht aan de leerlingen. Bewijs dat deze methode beter werkt is (nog) niet afdoende (Weert 2005), maar men zou kunnen beredeneren dat het beter is om risico te nemen met een methode die kan werken dan te blijven hangen in een methode waarvan bewezen is dat deze niet erg goed werkt. Lessen ontwikkelen volgens de context-concept benadering is goed beschreven door de biologievakdidacticus Janssen uit Leiden (Janssen 2008). Hierbij krijgen leerlingen invloed op het onderwerp dat wordt bestudeerd en de manier waarop dit

bestuderen dan plaats vindt, terwijl de docent voornamelijk organiseert en af en toe stuurt om de leerlingen tot de juiste inzichten te laten komen. Een ontwerpopdracht leent zich hier uitermate goed voor, aangezien de leerlingen zelf kunnen bepalen wat ze willen ontwerpen, welke aspecten van hun ontwerp ze willen testen en verbeteren en hoe ze hun ontwerp uiteindelijk realiseren.

Een conceptentest kan een goed en redelijk betrouwbaar beeld geven van de internalisering van natuurkundige concepten (Hestenes 1992). Een onderwerp moet dan wel opgedeeld worden in meerdere deelonderwerpen en voor elk deelonderwerp zijn meerdere vragen nodig om een volledig en betrouwbaar beeld te krijgen van de conceptuele kennis van een persoon. De vragen moeten ook puur conceptueel van aard zijn en weinig probleemoplossende vaardigheden vereisen. Nog steeds is het mogelijk dat de resultaten uit een dergelijke test afwijken van de daadwerkelijke gedachtegang van de persoon. Leerlingen hebben soms namelijk de neiging om een alternatieve werkelijkheid te vormen voor natuurkundige kennis die zij niet in het dagelijks leven gebruiken (Mazur 1997). Dit gebeurt vaker wanneer weinig herkenbare context wordt aangeboden bij de concepten. Om deze onzekerheid in het gemeten leerresultaat te verkleinen kunnen naast een conceptentest andere meetmethoden toegepast worden. Observaties worden vaak in onderzoek gebruikt als belangrijkste meetinstrument, zoals in het eerdergenoemde onderzoek naar aanleiding van het Junior TU Delft project (Arntzen 2012). Een ander sterk middel om het conceptuele raamwerk van een leerling bloot te leggen is een ontwerpopdracht (W. Roth 2001). Een ontwerpopdracht is namelijk een slecht gestructureerd probleem waarin een leerling enig begrip van de relevante natuurkundige concepten nodig heeft om tot een oplossing te komen, anders dan bij een doorsnee vraagstuk met vaste oplosstrategie. Bovendien kan dit conceptuele raamwerk geobserveerd worden in het gemaakte ontwerp of de redenering die daarmee gepaard gaat.

### 3. METHODE

Het doel van dit onderzoek is zoals eerder vermeld tweeledig:

- Oriëntatie op het verschil tussen inductief en deductief leren.
- Onderzoek naar ontwerpen als meetinstrument.

Onder inductief leren wordt hier het leren volgens de context-concept benadering verstaan, waarbij leerlingen eerst het concept ontdekken door middel van een leerlingenonderzoek, waarbij ze alleen gestuurd worden door een werkblad en het aanwezige materiaal, gevolgd door verdieping via klassikale uitleg en het toepassen van het concept in een ontwerp. Deductief leren gebeurt precies andersom, namelijk eerst klassikale uitleg en daarna pas een leerlingenonderzoek, wederom afgesloten door het toepassen van het concept in een ontwerp. Om de onderzoeksdoelen te bereiken wordt gebruik gemaakt van een driehoeksmeting tijdens een lessenserie over het ontwerpen van een boot, waarbij zowel inductief als deductief les wordt gegeven, met de ontwerpen van leerlingen als één van de gebruikte meetinstrumenten.

#### 3.1 POPULATIE

Dit onderzoek is uitgevoerd tijdens een zogenaamde themaklas, een keuzemodule voor leerlingen uit de tweede klas van alle niveaus (MAVO, HAVO en VWO), van in totaal acht lessen van 100 minuten. Tijdens deze lessen kregen 24 leerlingen, opgedeeld in acht groepen van drie leerlingen, de opdracht om een boot te ontwerpen, die snel door een sleeptank kan worden getrokken en gebaseerd is op natuurkundige concepten. Vier natuurkundige concepten werden op een inductieve en deductieve manier behandeld door middel van klassikale uitleg en een leerlingenonderzoek in deze volgorde (deductief) of andersom (inductief). Als extra bron van motivatie werd aan de ontwerpbeurt ook een wedstrijd gekoppeld met een prijs voor de winnaar met de beste boot, gebaseerd op snelheid en een natuurkundig correct ontwerp. Deze basisgegevens van de lessenserie staan beknopt in Tabel 1 weergegeven.

**TABEL 1. OVERZICHT VAN BASISGEGEVENS VAN DE LESSENSERIE.**

<i>onderdeel</i>	<i>beschrijving</i>
klas	24 tweedeklassers (9 gymnasium, 9 atheneum, 5 HAVO, 1 VMBO)
lessenserie	keuzeproject "Boten bouwen" (8 blokken van tweemaal 50 minuten)
standaard lesonderdelen	onderzoek naar concept, hoorcollege over concept, ontwerpen
bijzondere lesonderdelen	introductie over onderzoek, eindpresentatie, ontwerpwedstrijd
beoordelingsconcepten	drijven, stabiliteit, wrijving (door nat oppervlak) en (wrijving door) vorm

De betreffende groep leerlingen is niet te beschouwen als een aselechte steekproef; in totaal 149 leerlingen uit vijf tweede klassen (1 MAVO, 2 HAVO, 2 VWO) van het Bonaventuracollege vestiging Burggravenlaan te Leiden mochten een voorkeur opgeven voor een themaklas, waarvan slechts 24 zijn ingedeeld in deze klas. Voor deze leerlingen geldt dat zij de themaklas hadden opgegeven als eerste of tweede keuze en dus meer geïnteresseerd waren in dit onderwerp dan in andere keuzemogelijkheden (voetbal, sport algemeen, muziek, beeldhouwen en forensisch onderzoek). Uit Tabel 1 valt op dat dit voornamelijk leerlingen zijn van het VWO. Wel bleek uit de opmerkingen van leerlingen dat niemand de beschrijving van de themaklas had gelezen en dat er puur was gekozen op de naam; sommige leerlingen waren teleurgesteld in hun keuze toen ze hoorden dat natuurkunde centraal stond in de themaklas. In dit onderzoek zullen de onderzoeksvragen beantwoord worden voor deze specifieke klas, maar die resultaten zijn niet representatief voor heel Nederland door de selectie van de leerlingen en de zeer kleine populatie. Wel is de populatie geschikt voor het doel van het onderzoek. De kleine populatie biedt namelijk de mogelijkheid om met zeer beperkte middelen alsnog gedetailleerd onderzoek te doen en het doel van een oriënterend (voor)onderzoek is niet om resultaten te genereren die representatief zijn voor een grote gemeenschap.

Tijdens de lessenserie zijn de leerlingen onderverdeeld in twee onderzoeksgroepen om het verschil tussen inductief en deductief leren te kunnen bestuderen. Deze onderzoeksgroepen bestonden ieder uit vier groepen van drie leerlingen die samenwerkten. De kleinere groepen zijn tot stand gekomen door eigen keuze van de leerlingen, in de hoop dat de samenwerking dan soepel zou verlopen en niet van invloed zou zijn op de resultaten. Van de vier natuurkundige concepten die werden behandeld zijn twee concepten inductief en twee

deductief aangeleerd bij iedere onderzoeksgroep, zodat eventuele verschillen in leercapaciteit tussen de onderzoeksgroepen zo min mogelijk van invloed zijn op de verschillen tussen de inductieve en deductieve lesmethode. In Tabel 2 staat de verdeling van de onderzoeksgroepen weergegeven.

**TABEL 2. OVERZICHT VAN DE TWEE ONDERZOEKSGROEPEN.**

	<i>groep A</i>	<i>groep B</i>
aantal leerlingen	12	12
aantal groepen	4	4
onderwijsniveau	6 gym, 3 ath, 2 HAVO, 1 VMBO	3 gym, 6 ath, 3 HAVO
man/vrouw	9/3	5/7
inductieve concepten	wrijving, stabiliteit	drijven, vorm
deductieve concepten	drijven, vorm	wrijving, stabiliteit

### 3.2 LESSENSERIE

Tijdens de lessenserie is telkens duidelijk gecommuniceerd naar de leerlingen wat er verwacht werd aan het einde van de themaklas:

- Een snelle boot maken die voortgetrokken wordt door een klein gewichtje met behulp van een katrol.
- Naar aanleiding van onderzoek een goed onderbouwd ontwerp presenteren.

Om aan deze verwachtingen te kunnen voldoen kregen leerlingen les over vier concepten die te maken hebben met het functioneren van een boot. Deze vier concepten staan beknopt beschreven in Tabel 3 en uitgebreid in Bijlage: concepten. In de bijlage is tevens een vijfde concept opgenomen, namelijk wrijving afhankelijk van snelheid, maar dit concept is tijdens het onderzoek wegens tijdgebrek niet behandeld. Een goed onderbouwd ontwerp betekent dat de vier concepten correct toegepast moeten worden in het ontwerp. Dit is dus ook het doel dat de leerlingen nastreefden gedurende de hele lessenserie.

**TABEL 3. TOELICHTING OP CONCEPTEN – VERSCHILLENDE ASPECTEN BINNEN EEN CONCEPT ZIJN ONDERSTREEPT.**

<i>concept</i>	<i>omschrijving</i>
drijven	Er is een verband tussen <u>drijfkracht</u> en <u>volume</u> onder water. Aangepaste wet van Archimedes.
stabiliteit (kapseizen)	Een boot is stabiel als het zwaartepunt zo <u>laag</u> mogelijk ligt en in het <u>midden</u> van de boot.
wrijving (door nat oppervlak)	Een boot wordt meer afgeremd door een <u>groter nat oppervlak</u> . Gerelateerd aan afmetingen.
(wrijving door) vorm	Een boot wordt afgeremd door een niet afgerond <u>voorsteven</u> , <u>achtersteven</u> en scherpe schouders (hoeken onder de waterlijn).

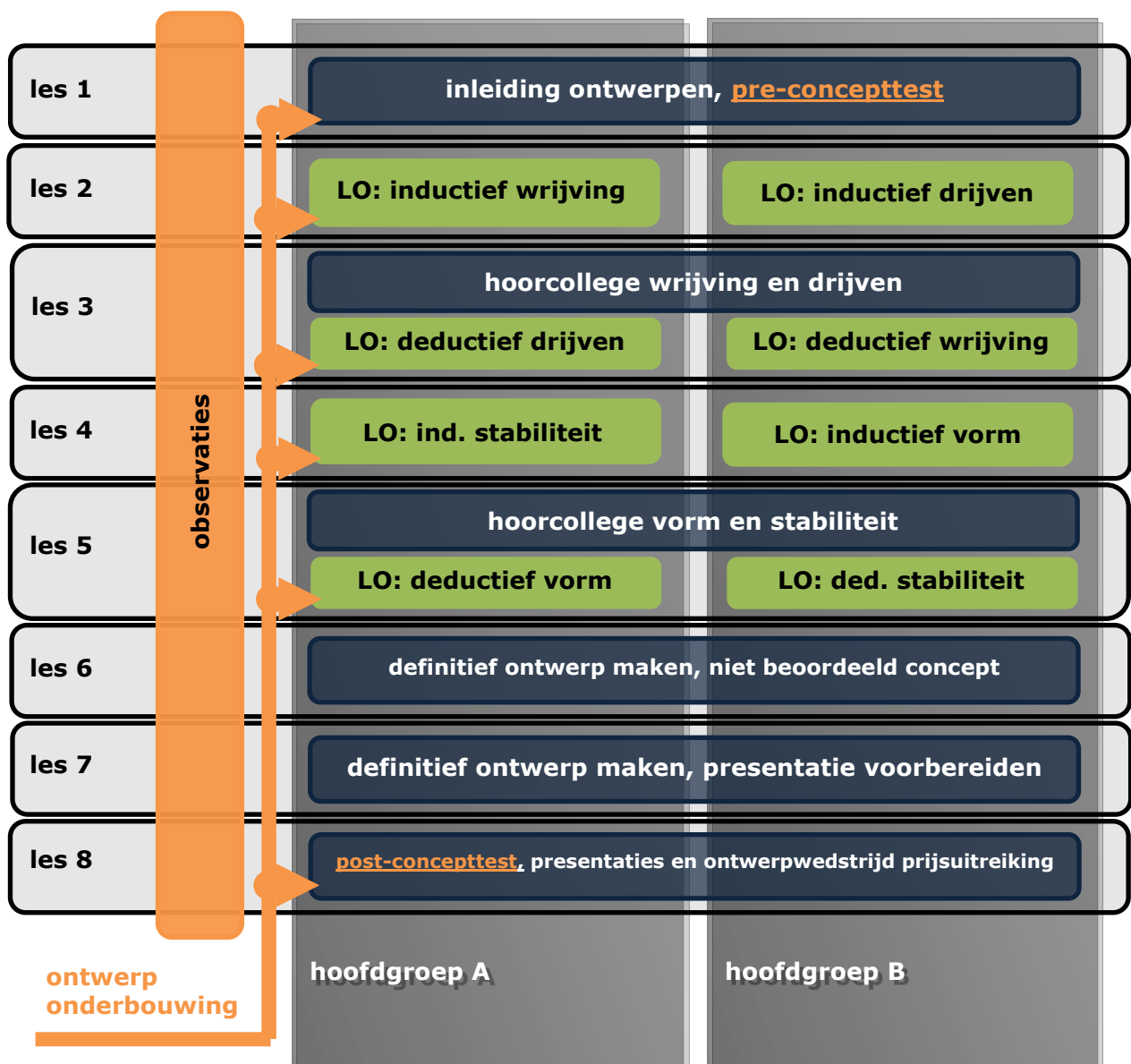
Gedurende de lessenserie zijn de vier concepten uit Tabel 3 zowel inductief als deductief behandeld voor de twee onderzoeksgroepen uit Tabel 2. De lessenserie begon met een introducerende les. Tijdens deze les werd de ontwerpcyclus behandeld en konden leerlingen hiermee kennis maken aan de hand van een werkblad over het ontwerpen van een duurzame boot (zie Bijlage: werkbladen). Dit ontwerp had nog niets te maken met de vier natuurkundige concepten, maar diende puur ter gewinning aan het ontwerpproces.

De vier lessen daarna werden besteed aan de vier concepten. Per twee lessen werd eerst een les besteed aan leerlingenonderzoek zonder uitleg met een verschillend concept voor de twee onderzoeksgroepen. Dit werd gevolgd door een les met klassikale uitleg over de twee onderzochte concepten en weer het uitvoeren van leerlingenonderzoeken, maar nu met de concepten gewisseld tussen de twee onderzoeksgroepen. Zo kregen beide onderzoeksgroepen telkens eerst inductief een concept aangeleerd en daarna deductief een ander concept. De klassikale uitleg werd alle keren verzorgd door dezelfde docent aan de hand van de sheets uit Bijlage: collegesheets. Voor structuur tijdens de leerlingenonderzoeken werden werkbladen (zie Bijlage: werkbladen) uitgedeeld, zodat leerlingen eerst een onderzoeksvraag en opstelling zouden bedenken alvorens te gaan meten. Verder zijn de leerlingen conform de context-concept benadering (Janssen 2008) bij de inductieve lesmethode volledig vrij gelaten om te onderzoeken wat ze interessant vonden, mits dit te maken

had met het concept dat werd behandeld en uitvoerbaar was met het aanwezige materiaal. Bij de deductieve lesmethode werd hetzelfde materiaal gebruikt, maar bestond door de uitleg vooraf meer sturing.

Na het behandelen van alle vier de concepten kregen de leerlingen twee lessen de tijd om een definitief ontwerp te maken en vervolgens te realiseren. Hierbij was de onderbouwing van het ontwerp aan de hand van de geleerde concepten net zo belangrijk als de uiteindelijke realisatie. De laatste les moest elke groep van drie leerlingen het ontwerp en eindproduct presenteren en volgde de wedstrijd om een winnaar van de themaklas aan te wijzen als leuke afsluiting van de lessenserie.

De uitvoering van de lessenserie, met een meer gedetailleerde inhoud van elke les, observaties van het werk van de leerlingen en per les voornemens om de volgende les beter te maken staat beschreven in Bijlage: lesinhoud. In Figuur 1 staat de gehele lessenserie schematisch weergegeven, inclusief momenten waarop gebruik is gemaakt van de meetinstrumenten die in de volgende paragraaf worden beschreven.

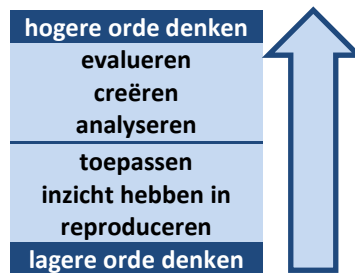


FIGUUR 1. TIJDSPLAN VAN DE LESSENSERIE, INCLUSIEF DE ONDERDELEN VAN DE DRIEHOEKSMETING. ALLE LESSEN ZIJN EVEN LANG. "IND." EN "DED." STAAN RESPECTIEVELIJK VOOR INDUCTIEF EN DEDUCTIEF.

### 3.3 MEETINSTRUMENTEN

#### 3.3.1 OPERATIONALISERING

Om het verschil in effectiviteit tussen de inductieve en de deductieve lesmethode te kunnen meten, moet de mate van internalisering van de vier natuurkundige concepten bij de leerlingen worden getest. Hiertoe is het van belang om deze onduidelijke term te operationaliseren naar meetbare grootheden. Om dit te bereiken is gebruik gemaakt van de Taxonomie van Bloom (SLO 2012). Volgens deze taxonomie is het laagste cognitieve niveau kennis of reproductie, bijvoorbeeld het kennen van een definitie of wet, gevolgd door begrip of inzicht, bijvoorbeeld begrijpen waarom een wet geldt, en toepassing, bijvoorbeeld met een wet kunnen uitrekenen wat er zal gebeuren in een specifieke (onbekende) situatie. Na deze eerste drie niveaus volgen er nog drie hogere niveaus waar minder consensus over bestaat. De Taxonomie van Bloom staat weergegeven in Figuur 2.



FIGUUR 2. COGNITIEVE NIVEAUS NAAR DE TAXONOMIE VAN BLOOM.

In het voortgezet onderwijs wordt vooral getracht nieuwe kennis op de onderste drie niveaus aan te brengen, gevolgd door herhaling, verdieping en verbreding om uiteindelijk ook de hoogste drie niveaus te bereiken. In één lessenserie bij een klas uit de onderbouw is het niet te verwachten dat de hoogste drie cognitieve niveaus bereikt worden en kan extra aandacht worden besteed aan de laagste drie niveaus. Met behulp van deze drie niveaus kan 'internaliseren van natuurkundige concepten' geconcretiseerd worden tot beoordelingscriteria. Bij elk van de cognitieve niveaus bestaan namelijk signaalwoorden die aangeven wat een leerling moet kunnen om zich op dat cognitieve niveau te bevinden. Deze signaalwoorden zijn te vertalen naar opgaven die leerlingen moeten kunnen maken of naar redeneringen die leerlingen gebruiken ter onderbouwing van een ontwerp of als antwoord op een gestelde vraag. Een beschrijving van de onderste drie cognitieve niveaus in de Taxonomie van Bloom inclusief bijbehorende signaalwoorden (SLO 2012) staat weergegeven in Tabel 4.

TABEL 4. BESCHRIJVING VAN DE ONDERSTE DRIE COGNITIEVE NIVEAUS VAN BLOOM INCLUSIEF SIGNAALWOORDEN.

<i>cognitief domein</i>	<i>beschrijving en signaalwoorden</i>
reproduceren	<i>Het paraat hebben van objectieve kennis.</i> signaalwoorden: reproduceren, noemen, opsommen, definiëren, beschrijven, herkennen, feitelijke verbanden leggen
inzicht hebben in	<i>Eerder verworven kennis kunnen uitleggen.</i> signaalwoorden: selecteren, samenvatten, verklaren, uitleggen, voorspellen, beschrijven, onderbouwen
toepassen	<i>Eerder verworven kennis en inzichten gebruiken in een nieuwe situatie.</i> signaalwoorden: uitlijnen, oplossen, experiment uitvoeren, aantonen, berekenen, concrete gevallen toetsen aan abstracte definities

Naarmate een leerling zich bij een bepaald natuurkundig concept op een hoger cognitief niveau bevindt, zal gesproken worden van een betere internalisering van dit specifieke concept. Bovendien wordt in dit onderzoek ook extra waarde gegeven aan de mate waarin een leerling zich bewust is van de kennis over het concept. Als een leerling bijvoorbeeld uitlegt dat een boot beter blijft drijven als deze groter wordt gemaakt, dan blijkt hieruit inzicht in de situatie. Als hierbij echter ook genoemd wordt dat dit te maken heeft met de Wet van Archimedes, of dat de opwaartse kracht op de boot evenredig is met het volume dat onder water zit, dan heeft de leerling niet alleen inzicht in de situatie, maar is de leerling zich ook echt bewust van dit inzicht. Dergelijke redeneringen maken het veel onwaarschijnlijker dat het antwoord berust is op een gelukkige gok. Natuurlijk zou dit antwoord dan ook ingedeeld kunnen worden onder een hoger cognitief niveau, namelijk toepassen,

maar in dit onderzoek is gekozen voor een extra onderscheid tussen onbewuste en bewuste kennis voor alle drie de gebruikte cognitieve niveaus.

Om te testen op welk cognitief niveau een leerling zich bevindt bij elk van de vier natuurkundige concepten wordt gebruik gemaakt van drie verschillende meetinstrumenten: observaties van de leerlingen tijdens de leerlingenonderzoeken en de ontwerp opdracht, een conceptentest en tussentijdse ontwerpen van een boot na elk leerlingenonderzoek, inclusief onderbouwing van de mate van belang die leerlingen in hun ontwerp hechten aan elk concept. De observaties en de conceptentest worden voornamelijk gebruikt om het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode te analyseren, terwijl de tussentijdse ontwerpen ook extra informatie bieden over het gebruik van een ontwerp opdracht als meetinstrument. De conceptentest geeft informatie over alle individuele leerlingen, terwijl de observaties en ontwerpen per groep van drie leerlingen zijn uitgevoerd. Om beter te kunnen vergelijken worden de resultaten daarom op twee manieren gepresenteerd; algemeen voor de klas als geheel en per groep van drie leerlingen. Door triangulatie van de drie meetinstrumenten wordt vervolgens de betrouwbaarheid van de resultaten getest. Elk meetinstrument wordt in de volgende secties uitgebreid besproken, maar in Tabel 5 staat tevens zeer beknopt de operationalisering weergegeven, waarbij de drie cognitieve niveaus inclusief opdeling tussen bewust en onbewust gebruik voor elk meetinstrument worden toegelicht.

**TABEL 5. BEKNOPTE OPERATIONALISERING VAN 'INTERNALISEREN VAN NATUURKUNDIGE CONCEPTEN' VOOR ALLE DRIE DE GEBRUIKTE MEETINSTRUMENTEN NAAR AANLEIDING VAN DE ONDERSTE DRIE COGNITIEVE NIVEAUS VAN BLOOM.**

<i>cognitief domein</i>	<i>subdimensie</i>	<i>meetinstrument</i>	<i>indicator</i>
reproducen	bewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Concept wordt genoemd. Kennisvragen correct beantwoord inclusief noemen van concept. /
	onbewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Een voorbeeld van het concept wordt genoemd zonder onderbouwing. Kennisvragen correct beantwoord zonder onderbouwing. /
inzicht hebben in	bewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Concept wordt uitgelegd. Begripsvragen correct beantwoord inclusief uitleggen van concept. /
	onbewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Een voorbeeld van het concept wordt uitgelegd zonder benoeming van het concept. Begripsvragen correct beantwoord zonder onderbouwing. /
toepassen	bewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Concept wordt toegepast inclusief benoeming van het concept (bijvoorbeeld in een ontwerp). Toepassingsvragen correct beantwoord inclusief gebruiken van concept. Concept wordt gebruikt en benoemd in het ontwerp, inclusief beoordeling.
	onbewust	observaties conceptentest ontwerp(onderbouwing)	Concept wordt toegepast zonder benoeming van het concept (bijvoorbeeld in een tekening). Toepassingsvragen correct beantwoord zonder onderbouwing. Concept wordt gebruikt maar niet benoemd in het ontwerp (bijvoorbeeld in een tekening) en wordt dus ook niet beoordeeld.

### 3.3.2 OBSERVATIES

De leerlingen zijn tijdens het uitvoeren van de leerlingenonderzoeken en de ontwerpopdracht uitgebreid geobserveerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen drie verschillende soorten observaties:

- *Observatie van de leerlingenonderzoeken.* Per groep van drie leerlingen zijn de leerlingenonderzoeken geobserveerd en gerelateerd aan het daaropvolgende tussentijdse ontwerp en het eindontwerp.
- *Observatie van groepen leerlingen.* Per groep van drie leerlingen zijn bijzonderheden gedurende de hele lessenserie genoteerd.
- *Algemene observaties in de klas.* De klas is per les als geheel geobserveerd aangaande inzet, structuur en uitspraken en opvattingen van de leerlingen om te linken aan de observaties van de groepen.

De observaties gebeurden elke les vanuit de leerlingenonderzoeken. Gekeken werd of de leerlingen goed onderzoek uitvoerden, gebaseerd op een duidelijke onderzoeksvraag en vervolgens ook een passende conclusie conform de termen bij elk concept uit Bijlage: concepten. Indien dus in zowel de onderzoeksvraag als de conclusie één van de passende termen bij het onderzochte concept voorkomt en de conclusie direct gebaseerd is op de onderzoeksvraag, dan wordt gesproken van goed onderzoek. Vervolgens is het uitvoeren van goed onderzoek gelinkt aan het gebruiken van het onderzochte concept in het tussentijdse ontwerp direct na het leerlingenonderzoek en in het eindontwerp. Bij de resultaten in het volgende hoofdstuk is eerst puur gekeken of het concept voorkomt in het ontwerp als gemiddelde voor de gehele klas en nog niet hoe goed het wordt toegepast en of er verschillen zijn tussen de groepen leerlingen. Dit volgt wel later bij de individuele resultaten, waarbij meer bijzonderheden per groep van drie leerlingen aan bod komen. Telkens vormt het verschil tussen de inductieve en de deductieve lesmethode de rode draad in de presentatie van de resultaten.

Aangenomen wordt dat observaties zeer nauwkeurige resultaten kunnen opleveren, aangezien elk detail kan worden opgemerkt en alle aanwezige informatie gelijk wordt gewaardeerd. Dit kan echter worden beïnvloed door de subjectiviteit van de observanten. Vandaar dat gekozen is voor het observeren van de relatie tussen goed onderzoek en gebruik van een concept in een ontwerp, aangezien dit zeer objectief is, gevolgd door meer subjectieve observaties van de groepen leerlingen. Indien de resultaten van deze observaties overeenkomen kan worden aangenomen dat eventuele subjectiviteit weinig van invloed is geweest op het onderzoek.

#### UITVOERING

Tijdens het uitvoeren van de lessenserie en de observaties kwam naar voren dat inzet van leerlingen verschilt per lesmethode en van grote invloed kan zijn op het leerresultaat. Dit blijkt ook uit het verloop van de lessen zoals beschreven in Bijlage: lesinhoud. Bovendien bleek het dat sommige leerlingen goed onderzoek uitvoerden volgens de hierboven beschreven norm, maar toch op verkeerde resultaten uitkwamen. Dit is ook weer van invloed op het verschil in leerresultaat, aangezien de verkeerde conclusie erg lang bleef hangen en zeer moeilijk was om te corrigeren. Deze beide moeilijkheden komen bij het bespreken van de resultaten en conclusies extra aan bod.

#### ANALYSE

De resultaten van de observaties zijn op twee manieren geanalyseerd. Allereerst zijn van de relatie tussen goed onderzoek en gebruik van het onderzochte concept in het ontwerp gemiddelden uitgerekend voor de hele klas. Hierbij is, wegens de kleine onderzoeksgroep (vier groepen leerlingen per onderwerp en per lesmethode), geen foutenmarge opgesteld, maar het mag duidelijk zijn dat de resultaten niet representatief zijn voor alle scholen. Indien een concept in het ontwerp wordt genoemd, kan gesproken worden van kennis van het concept, met onderscheid tussen bewuste kennis bij het bij naam noemen van het concept, of onbewuste kennis bij het gebruiken van het concept zonder het concept expliciet te noemen. Vervolgens is per groep van drie leerlingen ook gekeken naar specifieke bijzonderheden. Deze bijzonderheden zijn niet gesorteerd of aangepast, maar exact weergegeven zoals de gebeurtenissen zijn voorgekomen tijdens de lessenserie, alleen maar geordend per groep. Uit deze bijzonderheden blijkt vaak hoe goed concepten zijn toegepast in een ontwerp en wat voor uitspraken leerlingen doen over een concept. Zo kan dus regelmatig worden gesproken over bewust begrip en bewuste toepassing, indien het concept hier ook bij naam wordt genoemd, of onbewust begrip en onbewuste toepassing, indien het concept zonder naam voorkomt in de uitspraken van de leerlingen of in het gemaakte ontwerp. Op deze manier wordt uit de observaties een onderscheid gemaakt tussen leerresultaten behaald met beide lesmethoden.



### 3.3.3 CONCEPTENTEST

De leerlingen hebben zowel aan het begin als aan het einde van de lessenserie een conceptentest over de vier concepten uit Tabel 3 gemaakt. Deze conceptentesten zijn gebaseerd op de FCI van Hestenes (Hestenes 1992). Anders dan bij Hestenes zijn de conceptentesten niet vooraf getest en bevatten ze geen meerkeuzevragen gebaseerd op open antwoorden van een grote groep leerlingen. Ze zijn echter wel op eenzelfde manier gestructureerd en bevatten twee vragen per concept, een afweging tussen genoeg vragen voor het verkrijgen van relevante informatie en niet teveel vragen zodat leerlingen de test serieus en geconcentreerd invullen. Bovendien is een extra vraag over wrijving als functie van snelheid opgenomen. Hierover is geen leerlingenonderzoek uitgevoerd, maar het concept is wel tijdens een college behandeld en dient ter controle. Zo bevatten beide testen in totaal negen vragen. De pre-test en de post-test zijn verder identiek qua opbouw en bestaan uit verschillende vragen, maar wel telkens over hetzelfde onderwerp en op hetzelfde cognitieve niveau van Bloom. De conceptentesten zijn te vinden in Bijlage: conceptentesten. In Tabel 6 staan de vragen ingedeeld op grond van welk concept wordt behandeld en welk cognitief niveau van Bloom nodig is om de vraag correct te beantwoorden.

**TABEL 6. OVERZICHT VAN DE VRAGEN IN DE CONCEPTENTESTEN INGEDEELD NAAR CONCEPT EN COGNITIEVE NIVEAU VAN BLOOM.**

<i>concept</i>		<i>kennen</i>	<i>begrijpen</i>	<i>toepassen</i>
drijven		2, 3	1	
stabiliteit	verticaal	5	4	4, 5
	horizontaal	5	4	4, 5
wrijving (door oppervlak)	nat oppervlak	8		7
	ruw oppervlak	8		7
(wrijving door) vorm	schoulers	6		7
	voorsteven	6		7
	achtersteven	6		7
wrijving door snelheid			9	

Via twee vragen per concept kan globaal gemeten worden of leerlingen vooruitgang boeken qua internalisering van de natuurkundige concepten. Natuurlijk is dit onvoldoende voor zeer betrouwbare resultaten, maar het geeft wel een goede oriëntatie op het leerresultaat behaald met beide lesmethoden, precies zoals de bedoeling is van dit onderzoek. Meer vragen zouden bij deze lessenserie teveel tijd kosten en de leerlingen teveel afleiden van het hoofddoel van de lessen, namelijk het ontwerpen van een boot. Verder zorgt het verschil in cognitief niveau dat nodig is om de vragen te beantwoorden voor een duidelijk onderscheid in de mate van internalisering, precies zoals bedoeld. Samen met de onderbouwing die bij elke vraag wordt verwacht, waaruit zal blijken of de leerling zich bewust is van een concept of niet, biedt dit voldoende mogelijkheid om de kennis van leerlingen te beoordelen en dus een goed beeld te vormen van het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode.

Bij de resultaten in het volgende hoofdstuk wordt gekeken naar het verschil tussen de twee lesmethoden voor de klas als geheel, met extra aandacht voor opvallende antwoorden. Bij de individuele resultaten is ook aandacht voor de antwoorden die elke groep van drie leerlingen geeft om te kijken of er grote individuele verschillen bestaan die wellicht de gemiddelde resultaten beïnvloeden.

#### UITVOERING

Tijdens het bekijken van antwoorden op de conceptentesten kwam een aantal onvolkomenheden naar voren dat verbeterd zou moeten worden. Deze onvolkomenheden zijn:

- Vraag 1: de vraagstelling is in de pre-test ingewikkelder dan in de post-test.
- Vraag 6: de vraagstelling is erg algemeen en ook te interpreteren voor andere soorten wrijving.
- Vraag 7: deze vraag was bedoeld om te testen of leerlingen een punt of juist een glad oppervlak bij een boot belangrijker vinden om de wrijving te verminderen. De leerlingenonderzoeken naar ruwheid van het oppervlak zijn echter geschrapt uit het onderzoek, dus de vraag heeft weinig nut.
- Vraag 8: de vraag in de pre-test is eigenlijk een begripsvraag die vrijwel niemand snapte. In de post-test is het een kennisvraag die erg goed ging. Deze vragen zijn dus slecht te vergelijken.

De onvolkomenheden die hier zijn benoemd hadden voorkomen kunnen worden door de conceptentesten vooraf te testen, maar konden tijdens het onderzoek niet meer worden aangepast. Dit zorgt voor een slechtere betrouwbaarheid van de resultaten. Nog steeds zullen de resultaten een goed beeld vormen van het verschil tussen de twee lesmethoden, omdat de vragen nog steeds bruikbaar zijn, alleen wordt het resultaat minder overtuigend. In een vervolgonderzoek zullen de conceptentesten beter getest moeten worden om dit soort onvolkomenheden te voorkomen.

#### ANALYSE

De conceptentesten zijn nagekeken volgens het antwoordmodel in Bijlage: conceptentest beoordeling. Hierin is het verschil aangegeven tussen de verschillende cognitieve niveaus van Bloom behorend bij de vragen, evenals het onderscheid tussen antwoorden waarbij de leerlingen zich bewust of onbewust zijn van het achterliggende natuurkundige concept. Op grond van dit antwoordmodel is gekeken naar de verbetering van de post-test ten opzichte van de pre-test voor beide lesmethoden voor de hele klas als gemiddelde. Hierbij zijn foutenmarges berekend op grond van een normaalverdeling (de standaarddeviatie). Indien het verschil van het gemiddelde voor de twee lesmethoden groter is dan tweemaal de standaarddeviatie behorend bij dit verschil, dan kan gesproken worden van een significant beter resultaat bij één van de twee lesmethoden. Verder worden bij de individuele resultaten de antwoorden van de losse groepen van drie leerlingen onder de loep genomen om eventuele grote individuele verschillen te identificeren.

#### 3.3.4 ONTWERPONDERBOUWING

Zoals in Figuur 1 aangegeven zijn er zes momenten waarop leerlingen een ontwerp hebben gemaakt, inclusief ontwerponderbouwing. Het eerste ontwerp is een nulmeting aan de start van de lessenserie. De volgende vier ontwerpen volgden allemaal op een leerlingenonderzoek naar één van de vier concepten om te bepalen of leerlingen de geleerde stof meteen konden toepassen in een ontwerp. Het laatste ontwerp is het eindontwerp voor de wedstrijd ter indicatie van het uiteindelijke niveau dat de leerlingen bereikt hebben. De ontwerpen na afloop van een leerlingenonderzoek zijn telkens gemaakt aan de hand van een ontwerpblad dat te vinden is in Bijlage: werkbladen. Het eindontwerp is op een los vel papier gemaakt zodat leerlingen volledig vrij waren in hun keuzes en moest als enige verplichting een tekening en onderbouwing bevatten.

In de ontwerpbladen konden de leerlingen zelf bepalen welke onderdelen of concepten ze belangrijk voor het ontwerp vonden door beoordeling aan de hand van een Likertschaal: “niet belangrijk”, “neutraal”, “beetje belangrijk”, “belangrijk” en “erg belangrijk”. Tevens was er ruimte om een tekening te maken. Voor de beoordeling van de ontwerpen wordt alleen naar de vier concepten uit Tabel 3 gekeken op twee verschillende manieren; het benoemen van een concept (gebruiken als onderbouwing van het ontwerp met of zonder ingevulde Likertschaal, aanduiden in de tekening of noemen tijdens de presentatie) en het waarderen van een concept volgens de Likertschaal. De ontwerpen met een beoordeling van de gebruikte onderdelen of concepten door middel van de Likertschaal zijn daarom een deelverzameling van de ontwerpen waarin een concept alleen wordt genoemd. Beide manieren van beoordelen zijn verder per concept op te delen naar twee momenten, namelijk voorafgaand aan en na afloop van het leerlingenonderzoek naar het concept. Afhankelijk van het concept waren er dus telkens één of meerdere ontwerpen voorafgaand aan het leerlingenonderzoek als nulmeting en één of meerdere ontwerpen achteraf ter indicatie van de effectiviteit van de lesmethoden.

Op het ontwerpblad is het mogelijk om nul keer, één keer of meerdere keren een beoordeling aan hetzelfde concept te geven, aangezien leerlingen volledig vrij werden gelaten bij het invullen. Dat is in de praktijk ook gebeurd. In het geval van twee gelijke beoordelingen is dan eenmalig die beoordeling gebruikt. Voor twee ongelijke beoordelingen is gekeken naar de mediaan van de twee beoordelingen. Dit resulteert in de ranking categorieën zoals weergegeven in Tabel 7, inclusief naamgeving zoals verder gebruikt in dit onderzoek.

Het benoemen van een concept in het ontwerp lijkt op de methode gebruikt bij de observaties, waarbij de relatie tussen goed onderzoek en het gebruiken (of benoemen) van een concept wordt bestudeerd. Bij de ontwerpen in deze sectie wordt echter geen onderscheid gemaakt tussen goed of slecht onderzoek, maar wordt gekeken naar de directe relatie tussen het behandelen van een concept via de inductieve of deductieve lesmethode, of dit nou goed of slecht gaat, en het gebruiken en benoemen van datzelfde concept in een ontwerp. Hiermee wordt dus het cognitieve niveau van toepassen getest. De beoordeling bij een bepaald concept geeft dan extra informatie in hoeverre leerlingen zich het belang van het concept realiseren en zich dus bewust zijn van deze toepassing. De algemene resultaten die hieruit naar voren komen worden in het volgende hoofdstuk voor de klas als geheel besproken.

TABEL 7. RANKING CATEGORIEËN LIKERTSCHAAL.

<i>indicatie</i>	<i>Likertschaal beoordeling</i>
A	niet belangrijk
B	neutraal
C	neutraal/beetje belangrijk
D	beetje belangrijk
E	beetje belangrijk/ belangrijk
F	belangrijk
G	belangrijk/ heel belangrijk
H	heel belangrijk

Bij de individuele resultaten worden de ontwerpen van de groepen van drie leerlingen nog aandachtiger bestudeerd om eventuele bijzonderheden te ontdekken en om te kijken of de leerlingen in hun ontwerp laten zien dat ze de concepten echt begrijpen en kunnen toepassen en niet alleen maar noemen. Zo kan dus worden gekeken of de algemene resultaten wel kloppen. Bovendien kan dan gekeken worden of grote individuele verschillen de algemene gemiddelde resultaten beïnvloeden.

Verwacht wordt dat de ontwerpen inclusief onderbouwing zeer goede resultaten opleveren. Uit de theorie komt naar voren dat ontwerp opdrachten zeer goed geschikt zijn om het conceptuele raamwerk van leerlingen bloot te leggen (W. Roth 2001) en bovendien bevat een ontwerp veel meer informatie dan antwoorden op bijvoorbeeld een conceptentest. Daarnaast hebben de leerlingen tijdens de lessenserie erg veel ontwerpen gemaakt (per groep zes ontwerpen, dus 48 ontwerpen in totaal), waardoor veel data voorhanden is en het leereffect op deze groep leerlingen dus behoorlijk nauwkeurig in kaart gebracht kan worden. Als laatste zorgt de onderbouwing van de verschillende aspecten van het ontwerp voor meer inzicht in de beoordeling van de concepten door de leerlingen zelf, waardoor het onderscheid tussen bewuste en onbewuste toepassing beter naar voren zal komen.

#### UITVOERING

Tijdens het invullen van de ontwerpbladen bleken de leerlingen erg vaak "heel belangrijk" als beoordeling van een concept op te schrijven. Dit maakt dat de beoordelingen een veel minder eenduidig resultaat opleveren doordat er weinig spreiding zit in de antwoorden. Toch kwamen er nog voldoende andere beoordelingen voor om een duidelijk verschil tussen de lesmethoden te onderscheiden, maar het zou verstandig zijn om bij eventueel vervolgonderzoek meer opties in de Likertschaal op te nemen met verschillende gradaties van belangrijk. Dan kiezen minder leerlingen de belangrijkste optie. Mindere maten van belang werden namelijk nog wel in enkele gevallen aan concepten toebedeeld, maar "onbelangrijk" en "neutraal" kwamen beiden slechts eenmaal voor. Een andere optie ter verbetering is om de hoogste beoordeling extremer te formuleren, bijvoorbeeld als "meest belangrijk". Alle beoordelingen op volgorde van "meest belangrijk" naar "minst belangrijk" zetten is echter geen handige aanpassing, want dat levert een nadeel op voor de statistische analyse van de resultaten. De waarderingen kunnen dan niet direct vergeleken worden, omdat met vier verschillende concepten tegelijk een complexe correlatie tussen de verschillende concepten ontstaat. Een aan te raden aanpassing zou dus zijn om meer opties die een mate van belang aangeven op te nemen en dan de hoogste optie te herformuleren naar "meest belangrijk". Dit was helaas tijdens het onderzoek niet meer mogelijk, omdat de leerlingen al meerdere ontwerpen hadden gemaakt tegen de tijd dat dit werd opgemerkt.

Tijdens de lessenserie is verder vaak benadrukt dat de wedstrijd voor leerlingen om een zo snel mogelijke boot te bouwen zowel werd beoordeeld op het eindproduct, een snelle boot, als op het maken van een goed ontwerp met duidelijke onderbouwing gebaseerd op de behandelde natuurkundige aspecten. Hoe dit is gedaan staat beschreven in Bijlage: lesinhoud. Vanuit leerperspectief was dit belangrijk voor de leerlingen, zodat ze gemotiveerd werden om bewuste keuzes te maken en serieus te onderzoeken. Vanuit onderzoeksperspectief was het minstens zo belangrijk voor de resultaten, aangezien er voldoende onderbouwingen van ontwerpen ingeleverd moesten worden. Toch werd in de ontwerponderbouwing vaak enkel de titel van het werkblad bij het uitgevoerde leerlingenonderzoek genoemd. Daarom is besloten deze titel mee te nemen bij het benoemen van een concept in het ontwerp. Dit is voor beide onderzoeksgroepen gedaan en zal dus uiteindelijk niet van invloed zijn op het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode.

## ANALYSE

Het benoemen van een concept in een ontwerp is nagekeken aan de hand van het beoordelingsmodel uit Bijlage: ontwerpouderbouw beoordeling. Voor de gehele klas als gemiddelde zijn de non-parametrische Likertschaal resultaten vergeleken met de Mann-Whitney-Willcoxon ranking test. Deze test categoriseert twee lijsten aan resultaten, in dit geval verkregen via de inductieve en via de deductieve lesmethode, en vergelijkt de som en de variantie van de twee lijsten. De nulhypothese is dat beide lijsten uit dezelfde verdeling komen, wat inhoudt dat er geen verschil is tussen een inductieve en deductieve lesmethode. Uit de ranking test volgt dan een kans dat de nulhypothese waar is. Wanneer deze kans kleiner is dan 5% (in het geval van een tweezijdige toets, waarbij iedere methode beter kan blijken dan de andere), dan verschillen de lijsten significant van elkaar en komen de resultaten dus uit verschillende verdelingen. De Kruskal-Wallis ANOVA is een uitbreiding van de Mann-Whitney-Willcoxon methode voor meer variabelen en is gebruikt om ook de vergelijking tussen voorafgaand aan en na afloop van een leerlingenonderzoek mee te nemen in de algemene resultaten. Bij de individuele resultaten is verder geen statistiek gebruikt, maar wordt gekeken of individuele verschillen van invloed zijn op de algemene resultaten.

### 3.4 TRIANGULATIE

Triangulatie is een methode binnen onderzoek die gebruikt kan worden om losse conclusies op grond van bepaalde meetinstrumenten te versterken door deze te combineren. In dit geval zijn dat observaties, een conceptentest en ontwerpouderbouwingen. Observaties geven natuurlijk veel informatie, maar zijn vatbaar voor subjectiviteit. Conceptentesten zijn al eerder door andere onderzoekers gebruikt als methode om te testen in welke mate conceptuele kennis bij leerlingen aanwezig is, zoals behandeld in het Theoretisch kader, maar geven niet altijd een goed idee van het taxonomisch niveau van conceptuele kennis en kunnen een ander resultaat opleveren dan de daadwerkelijke gedachtegang van leerlingen. Bovendien kan de context van de vragen nog van invloed zijn op de antwoorden en is de kwaliteit van de test zeer belangrijk voor het resultaat. Een ontwerpouderbouw lijkt een goed meetinstrument, omdat het conceptuele raamwerk van leerlingen hierin duidelijk kan worden, maar kan ook slechte resultaten opleveren omdat leerlingen naast het leren van natuurkundige concepten ook aandacht moeten besteden aan de ontwerpmethodiek. Daarom worden deze drie meetinstrumenten hier gecombineerd om overeenkomende conclusies te versterken.

Indien de validiteit van de meetinstrumenten naar behoren is, zullen de resultaten vergelijkbaar zijn. Als echter één van de meetinstrumenten invalide resultaten oplevert, dan zal dat blijken uit de triangulatie doordat de resultaten niet uniform zijn. Dan kunnen stappen worden ondernomen om de validiteit van dit meetinstrument, eventueel in vervolgonderzoek, te verbeteren. Wanneer twee van de drie of alle drie de meetinstrumenten invalide resultaten opleveren dan werkt deze methode natuurlijk niet, maar gezien de onderbouw van elk meetinstrument in de voorgaande secties wordt die kans erg klein geschat. Naast het gebruik van triangulatie voor het versterken van de conclusies, biedt deze manier van het vergelijken van resultaten ook de mogelijkheid om duidelijk te krijgen of een ontwerpouderbouw daadwerkelijk een geschikt meetinstrument is van het internaliseren van natuurkundige concepten.

Triangulatie van de drie meetmethoden wordt tweemaal toegepast. In het hoofdstuk Conclusie staat eerst een algemene triangulatie van de algemene resultaten van de drie meetinstrumenten. Zo volgt een algemene conclusie zowel aangaande het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode als over het gebruiken van een ontwerpouderbouw als meetinstrument. Vervolgens wordt deze conclusie getest aan de hand van een individuele triangulatie op basis van de individuele resultaten per groep van drie leerlingen. De algemene conclusie kan namelijk bij een kleine steekproef zoals hier sterk beïnvloed worden door een enkele groep. Door ook naar de losse groepen te kijken kan de algemene conclusie worden geverifieerd en vallen wellicht nog andere bijzonderheden op. Deze twee onderdelen worden uiteindelijk gecombineerd in een eindconclusie.

## 4. RESULTATEN

De resultaten zijn opgedeeld in een paragraaf algemene resultaten per meetinstrument voor de gehele groep leerlingen als gemiddelde en een paragraaf individuele resultaten per groep van drie leerlingen. De individuele resultaten bevatten een combinatie van de drie meetinstrumenten, zodat het leereffect van de lesmethoden bij elke groep van drie leerlingen zo duidelijk mogelijk wordt. De resultaten worden in dit hoofdstuk direct geïnterpreteerd, gevolgd door een samenvattende conclusie in het volgende hoofdstuk.

### 4.1 ALGEMENE RESULTATEN

#### 4.1.1 OBSERVATIES

Bij de observaties is als eerste gekeken naar het onderzoek dat de leerlingen hebben uitgevoerd. Hierbij is geobserveerd of de leerlingen goed onderzoek uitvoerden, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk, en of dit goede onderzoek ook leidde tot een correct antwoord op de geformuleerde onderzoeksvraag. In Tabel 8 staan de resultaten van deze observaties weergegeven, gebaseerd op alle leerlingonderzoeken.

**TABEL 8. PERCENTAGE GOEDE, VERKEERDE OF ONDUIDELIJKE LEERLINGONDERZOEKEN VOOR DE GESELECTEERDE CONCEPTEN. TOTAAL ZIJN 32 LEERLINGONDERZOEKEN UITGEVOERD, WAARVAN 16 INDUCTIEF EN 16 DEDUCTIEF.**

	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>
relevant concept onderzocht, goed antwoord	44%	31%
relevant concept onderzocht, fout antwoord	6%	0%
ander of geen duidelijk concept onderzocht	50%	69%

Het blijkt dat leerlingen van de inductieve lesmethode vaker goed onderzoek uitvoerden dan leerlingen van de deductieve lesmethode. Er kwam wel eens een fout antwoord uit dit goede onderzoek, maar dat is zonder enige vorm van uitleg natuurlijk niet verwonderlijk. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat leerlingen volgens de inductieve lesmethode nog weinig weten van het concept en gemotiveerd zijn om hier onderzoek naar te doen. Dit voeren ze vervolgens zo goed mogelijk uit. Leerlingen die de deductieve lesmethode volgen hebben echter al iets gehoord van het concept en vinden het onderzoek daarna minder interessant en voeren dit dus ook minder goed uit. Tijdens het observeren viel ook op dat sommige groepen, voornamelijk tijdens de deductief opgezette onderzoeken, slecht gemotiveerd waren. Dit staat ook beschreven bij de individuele resultaten. De resultaten hier zijn door de kleine groep leerlingen natuurlijk niet te generaliseren, maar geven wel een goede eerste indicatie van het verschil tussen een inductieve en een deductieve lesmethode.

Nu is het natuurlijk interessant om te weten of beter onderzoek ook leidt tot een beter ontwerp. Daartoe is gekeken naar de ontwerpen die leerlingen hebben gemaakt direct na het uitvoeren van een onderzoek en aan het einde van de lessenserie. In Tabel 9 staat weergegeven welk percentage van de groepen het concept dat werd onderzocht ook noemde in het ontwerp, met onderscheid tussen de inductieve en deductieve lesmethode en het goed of slecht uitvoeren van onderzoek.

**TABEL 9. PERCENTAGE VAN HET AANTAL KEER DAT EEN CONCEPT NA UITVOEREN VAN HET ONDERZOEK ALS ONTWERPONDERBOUWING GENOEMD IS, ONDERVERDEELD NAAR GOED OF SLECHT ONDERZOEK.**

	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>	<i>totaal</i>
genoemd direct na goed onderzoek	75%	80%	77%
genoemd direct na slecht onderzoek	63%	73%	68%
genoemd in eindontwerp na goed onderzoek	75%	80%	77%
genoemd in eindontwerp na slecht onderzoek	63%	64%	63%

In Tabel 9 vallen twee zaken op. Ten eerste blijkt het dat een concept vaker wordt genoemd in het ontwerp na goed onderzoek dan na slecht onderzoek. Dit geldt voor het ontwerp direct na het onderzoek, maar nog meer voor het eindontwerp. Blijkbaar blijft het concept dus beter hangen als er goed onderzoek is uitgevoerd, wat vaker gebeurt bij een inductieve lesmethode. Een concept wordt aan de andere kant wel iets vaker genoemd na een deductieve lesmethode dan na een inductieve lesmethode. Dit valt te verklaren doordat leerlingen bij de inductieve lesmethode het ontwerp hebben gemaakt direct na het onderzoek, nog voordat de uitleg volgde,

terwijl leerlingen bij de deductieve lesmethode zowel uitleg hebben gekregen als onderzoek hebben uitgevoerd en dus veel meer met het concept bezig zijn geweest. Bovendien wordt hier alleen gekeken naar het noemen van het concept in het ontwerp en niet naar de correcte toepassing. Het blijkt dat leerlingen een concept vaker correct toepassen of uitleggen na de inductieve lesmethode, wat verder staat beschreven bij de individuele resultaten. Wederom geven de resultaten hier door de kleine groep leerlingen slechts een eerste indicatie van het verschil tussen een inductieve en een deductieve lesmethode.

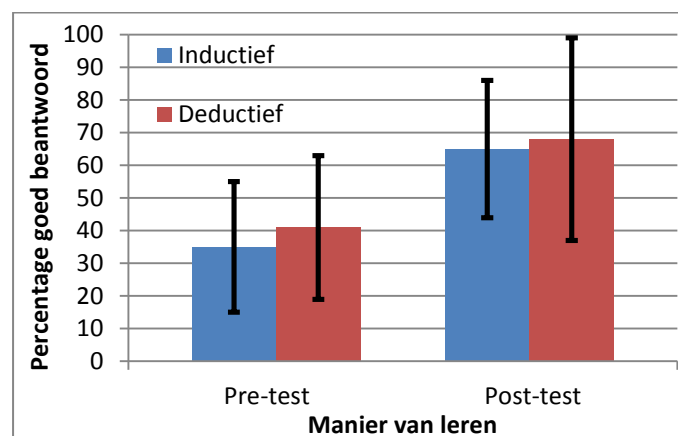
Uit de observaties lijkt de inductieve lesmethode net iets effectiever, niet zozeer doordat leerlingen echt meer te weten komen, maar vooral doordat ze gemotiveerder zijn en vervolgens de opgedane kennis beter lijken te begrijpen en weten toe te passen in een ontwerp.

#### 4.1.2 CONCEPTENTEST

De antwoorden van de leerlingen in beide conceptentesten zijn per lesmethode, namelijk inductief en deductief, en per vraag geëvalueerd volgens het antwoordmodel in Bijlage: conceptentest beoordeling. Indien een antwoord niet over het bedoelde concept gaat is het niet meegerekend, maar wel als opmerking bijgevoegd. Op deze manier staat een overzicht van de resultaten weergegeven in Bijlage: conceptentest uitslag. In Tabel 10 is ook een korter overzicht weergegeven van het percentage van de leerlingen dat een goed antwoord heeft gegeven op elke vraag in beide toetsen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de inductieve en deductieve lesmethode en staat ook het cognitieve domein bij elke vraag weergegeven. Het totaal is tevens grafisch weergegeven per lesmethode en voor beide testen in Figuur 3.

**TABEL 10. PERCENTAGE GOEDE ANTWOORDEN VAN LEERLINGEN OP DE VRAGEN UIT DE CONCEPTENTESTEN VOOR BEIDE LESMETHODEN, INCLUSIEF STANDAARDDEVIATIE BIJ DE TOTALEN OP GROND VAN EEN NORMAALVERDELING.**

	vraagnummer en cognitief domein	pre-test percentage			post-test percentage		
		inductief	deductief	totaal	inductief	deductief	totaal
drijfvermogen	1 begrijpen	20%	0%	9%	50%	42%	45%
	2 kennen	30%	67%	50%	90%	100%	95%
	3 kennen	90%	92%	91%	90%	83%	86%
stabiliteit	4 begrijpen / toepassen	25%	30%	27%	42%	70%	55%
	5 kennen / toepassen	67%	60%	64%	92%	70%	82%
vorm	6 kennen	8%	0%	5%	50%	30%	41%
	7 toepassen	40%	83%	64%	60%	75%	68%
wrijving	8 kennen	10%	8%	9%	60%	92%	77%
	9 begrijpen			23%			18%
snelheid (controle)							
totaal		35% ±	41% ±	38% ±	65% ±	68% ±	67% ±
		20%	22%	21%	21%	31%	26%



**FIGUUR 3. RESULTATEN VAN DE CONCEPTENTESTEN VOOR BEIDE LESMETHODEN.**

Uit de resultaten blijkt direct dat, over het geheel genomen, er vrijwel geen verschil zit tussen het aantal goede antwoorden bij de inductieve en de deductieve lesmethode in beide conceptentesten. Zowel het beginniveau als het eindniveau voor beide lesmethoden komen dus zeer goed overeen. Bovendien zijn de foutmarges erg groot, wegens de zeer kleine steekproef van slechts 22 leerlingen (24 – 2 afwezig), waardoor de kleine verschillen absoluut niet significant zijn, uitgaande van een normaalverdeling. Wel is voor beide methoden een duidelijke verbetering in het resultaat te zien tussen de pre-test en de post-test. Door de grote foutmarges is deze verbetering op grond van een normaalverdeling wederom niet significant, maar het verschil scheidt wel de verwachting dat beide lesmethoden tot een goed leerresultaat leiden.

Wanneer naar de resultaten per vraag in Tabel 10 wordt gekeken, soms aangevuld door de opmerkingen uit Bijlage: conceptentest uitslag, kunnen nog andere bijzonderheden worden herkend die niet opvallen in de gemiddelde resultaten. Hieronder zijn de meest opvallende resultaten per concept benoemd.

#### *Drijfvermogen*

- Scores van leerlingen voor beide lesmethoden gemiddeld hetzelfde.
- Vraag 1: vaker bewust begrip met benoeming van volume als belangrijke invloed op drijfvermogen bij de inductieve lesmethode. Bij de deductieve lesmethode vaak de vagere uitleg “groter”.
- Vraag 2: één leerling, uit de groep met de inductieve lesmethode, die niet alleen het trucje kent, maar echt het concept (bewust) kan toepassen.

#### *Stabiliteit*

- Scores van leerlingen voor beide lesmethoden gemiddeld hetzelfde.
- Vraag 4: vaker bewust begrip met benoeming van de locatie van het zwaartepunt als belangrijke invloed op de stabiliteit bij de inductieve lesmethode. Bij de deductieve lesmethode vaak de vagere uitleg “gaat kantelen”.

#### *Wrijving door vorm*

- Scores van leerlingen voor beide lesmethoden gemiddeld hetzelfde.

#### *Wrijving door nat oppervlak*

- Scores van leerlingen voor beide lesmethoden gemiddeld hetzelfde.

#### *Wrijving door snelheid*

- Ongeveer evenveel leerlingen met goede antwoorden bij de pre-test en de post-test.

Uit de losse antwoorden van leerlingen op de begripsvragen blijkt voor drijfvermogen en stabiliteit dat, hoewel het aantal goede antwoorden ongeveer hetzelfde is, de inductieve lesmethode vaker leidt tot bewust begrip volgens het onderscheid dat gemaakt is in Bijlage: conceptentest beoordeling. Dit resultaat is niet direct representatief vanwege de kleine groep leerlingen, maar spreekt wel in het voordeel van de inductieve lesmethode. Bij de kennisvragen is geen onderscheid te zien. Bij wrijving treedt geen verschil op tussen de twee lesmethoden, maar hierbij zijn alleen maar kennisvragen gesteld. Het zou interessant zijn om te kijken of bij deze concepten ook verschil in de antwoorden op begripsvragen optreedt zoals bij drijfvermogen en stabiliteit.

De betere resultaten voor de post-test dan voor de pre-test voor beide lesmethoden uit Tabel 10 kunnen minder betrouwbaar zijn dan lijkt, doordat twee vragen in de pre-test moeilijker waren voor de leerlingen dan de gerelateerde vraag in de post-test, zoals besproken bij de uitvoering in de methode. Voor de andere vragen scoren leerlingen weliswaar ook beter op de post-test, maar het verschil tussen pre-test en post-test is dan minder groot. Uit de controlevraag over wrijving door snelheid blijkt wel dat zonder leerlingenonderzoek er geen verbetering optreedt. Deze vraag speelt echter in op het cognitieve niveau van begrip en die vragen werden over het geheel slechter gemaakt dan kennisvragen. Hoeveel minder de leerlingen van dit concept hebben opgepikt is dus niet duidelijk. Nog steeds blijft het wel aannemelijk dat de gehele lessenserie een positief leerresultaat heeft opgeleverd voor beide lesmethoden en in het bijzonder de inductieve lesmethode met meer bewust begrip, maar de conceptentest levert op zichzelf nog geen doorslaggevend en volledig betrouwbaar bewijs om deze conclusie te valideren.

#### 4.1.3 ONTWERPONDERBOUWING

De resultaten van de ontwerpen die leerlingen gemaakt hebben zijn beoordeeld op grond van het aantal keer dat een concept is benoemd en de beoordeling volgens een Likertschaal die leerlingen vervolgens aan dit concept hebben gegeven. De ontwerpbladen van de leerlingen zijn hiertoe geëvalueerd aan de hand van de terminologie zoals beschreven in Bijlage: ontwerponderbouwing beoordeling. De resultaten van het aantal benoemingen en van de beoordelingen worden apart behandeld.

#### BENOEMINGEN

In Tabel 11 wordt het aantal keer dat elk concept genoemd is na afloop van een leerlingenonderzoek getoond, in Tabel 12 het aantal keer voorafgaand aan een leerlingenonderzoek.

**TABEL 11. AANTAL BENOEMINGEN VAN CONCEPT IN ONTWERPBLAD NA BEHANDELEN INHOUD. DIT BETREFT: ONDERBOUWING MET LIKERTSCHAAL, AANGEVEN IN DE TEKENING OF NOEMEN IN DE PRESENTATIE. TWEDE GETAL ACHTER DE “/” IS HET TOTAAL AANTAL BENOEMINGEN DAT MOGELIJK WAS.**

	<i>genoemd</i>			<i>percentage</i>		
	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>	<i>totaal</i>	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>	<i>totaal</i>
wrijving	8/20	6/16	14/36	40%	38%	39%
drijfvermogen	8/20	7/16	15/36	40%	44%	42%
stabiliteit	8/12	7/8	15/20	67%	88%	75%
vorm	11/12	7/8	18/20	92%	88%	90%
totaal	35/64	27/48	62/112	55%	56%	55%

Uit Tabel 11 valt ten eerste op dat niet alle concepten even goed zijn blijven hangen. Vorm en stabiliteit worden vaak genoemd, in tegenstelling tot drijven en wrijving, die als eerste zijn behandeld tijdens de lessenserie. De laatste twee concepten raken blijkbaar minder snel op de achtergrond dan de eerste twee concepten doordat er minder tijd zit tussen het onderzoek en het eindontwerp. Dit heeft echter weinig invloed op het verschil tussen de twee lesmethoden. Verder worden de inductief en deductief aangeleerde concepten nagenoeg even veel genoemd, alleen voor stabiliteit is het percentuele verschil behoorlijk groot. Een mogelijke uitleg hiervoor is dat er bij stabiliteit slechts twee toetsingsmomenten zijn, waardoor de dataset minder groot is. Tevens wordt stabiliteit voorafgaand aan de leerlingenonderzoeken ook vaker genoemd door de deductieve groep, zoals blijkt uit Tabel 12, waardoor het verschil te verklaren is door voorkennis bij de leerlingen in plaats van door een verschil in lesmethode. Vooraf is verder het verschil voor wrijving door nat oppervlak opmerkelijk, wat vaker genoemd werd bij de inductieve lesmethode. Na afloop is dit verschil niet meer te zien. Wellicht heeft de deductieve lesmethode meer effect gehad bij dit onderwerp, hoewel door de kleine dataset (slechts één benoeming vooraf die het verschil maakt) toeval ook een zeer logische verklaring is.

**TABEL 12. AANTAL BENOEMINGEN VAN CONCEPT IN ONTWERPBLAD VOOR BEHANDELEN INHOUD. DIT BETREFT: ONDERBOUWING MET LIKERTSCHAAL OF AANGEVEN IN DE TEKENING. TWEDE GETAL ACHTER DE “/” IS HET TOTAAL AANTAL BENOEMINGEN DAT MOGELIJK WAS.**

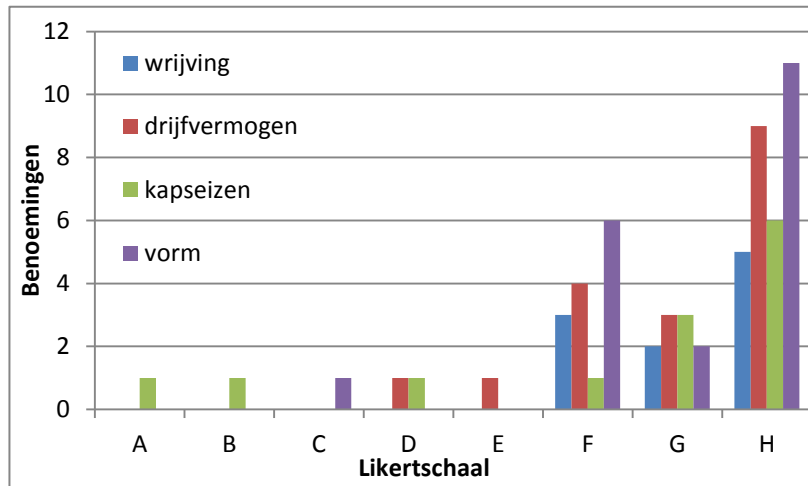
	<i>genoemd</i>			<i>percentage</i>		
	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>	<i>totaal</i>	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>	<i>totaal</i>
wrijving	1/4	0/8	1/12	25%	0%	8%
drijfvermogen	2/4	4/8	6/12	50%	50%	50%
stabiliteit	1/12	5/16	6/28	8%	31%	21%
vorm	5/12	5/16	10/28	42%	31%	36%
totaal	9/32	14/48	23/80	28%	29%	29%

Bij het aantal keer dat concepten vooraf genoemd werden is soepel geteld. Bij bepaalde termen staat namelijk in Bijlage: ontwerponderbouwing beoordeling dat ze alleen mee worden genomen indien de termen duidelijk naar voren komen uit het leerlingenonderzoek. Dit is ook gebeurd, maar dergelijke termen zijn vooraf goed gerekend omdat de leerlingen nog niet bewust met de concepten bezig zijn geweest. De verschillen tussen vooraf en achteraf zijn daarom eigenlijk nog groter dan Tabel 11 en Tabel 12 doen vermoeden. Hieruit blijkt dat er een positief leerresultaat is bereikt met beide lesmethoden; de concepten worden, met uitzondering van drijven, veel vaker genoemd na de lessenserie dan vooraf. Tussen de inductieve en de deductieve lesmethode is in deze resultaten geen verschil te ontdekken, maar dat kan liggen aan de zeer kleine populatie.



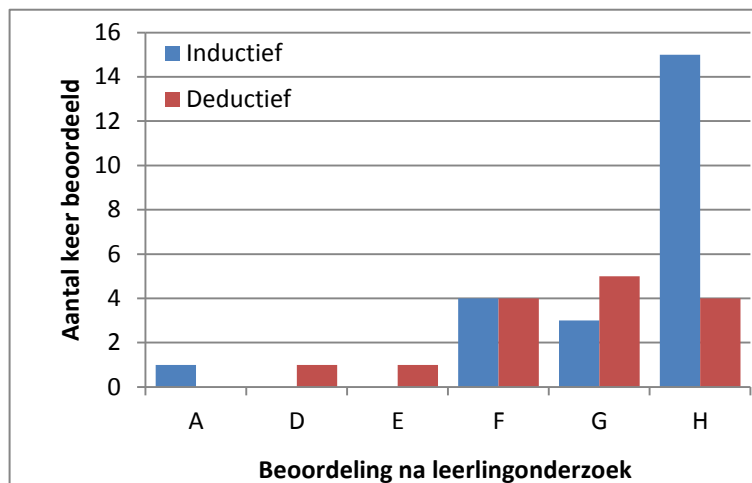
## BEOORDELINGEN

Het totaal aantal beoordelingen op de Likertschaal voor de vier concepten zoals de leerlingen hebben ingevuld op alle ontwerpbladen staat weergegeven in Figuur 4. Tabellen met alle beoordelingen per ontwerp van de groepen van drie leerlingen zijn ook te vinden in Bijlage: ontwerpouderbouwingslag.



FIGUUR 4. AANTAL BEOORDELINGEN PER CONCEPT VAN ALLE ONTWERPBLADEN. LIKERTSCHAAL NOTATIE ALS IN TABEL 7.

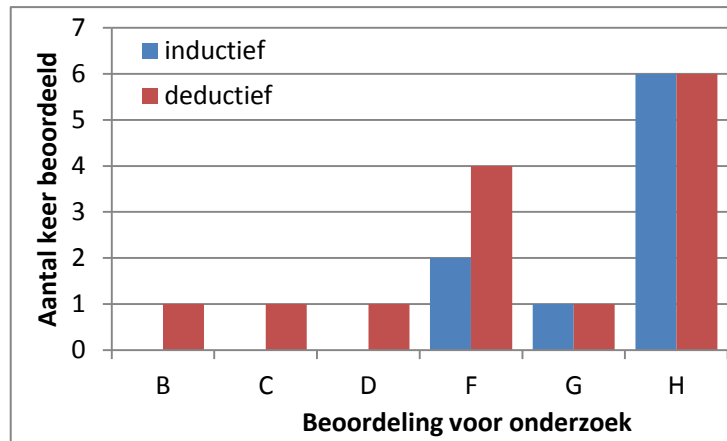
Uit Figuur 4 blijkt dat leerlingen de concepten vaak een hoge beoordeling geven. Dit geldt vooral voor het concept wrijving; als dat genoemd is, krijgt het altijd de beoordeling “heel belangrijk” of “belangrijk”. Dit hangt waarschijnlijk samen met de wedstrijd om een zo snel mogelijke boot te bouwen. Stabiliteit en drijven worden minder vaak belangrijk gevonden. Volgens de Kruskal-Wallis ANOVA hebben de beoordelingen per concept wel een 98,6% kans om uit dezelfde verdeling te komen, dus de concepten worden niet verschillend beoordeeld.



FIGUUR 5. AANTAL BEOORDELINGEN PER LESMETHODE NA BEHANDELEN INHOUD. DE KANS DAT BEIDE LESMETHODEN UIT DEZELFDE VERDELING KOMEN IS 4,8% (MANN-WHITNEY:  $P=0,048$ ). LIKERTSCHAAL NOTATIE ALS IN TABEL 7.

In Figuur 5 is onderscheid gemaakt tussen de inductieve en deductieve lesmethode voor de beoordelingen na afloop van het behandelen van de stof voor alle concepten samen. Omdat uit Figuur 4 naar voren kwam dat er geen verschil in beoordeling was tussen de vier concepten, is gekozen om te kijken naar alle concepten samen zodat een grotere dataset beschikbaar is. De inductieve methode levert duidelijk een hogere beoordeling op. De Mann-Whitney-Willcoxon ranking test geeft in dit geval een kans van 4,8% dat de twee metingen uit een gelijke verdeling komen. De hogere waardering voor de inductief aangeleerde concepten is dus statistisch significant. De beginsituatie moet echter ook in acht genomen worden om te kunnen beoordelen of dit verschil is veroorzaakt door de lesmethode. Daartoe staan de waarderingen voor beide lesmethoden voorafgaand aan

het behandelen van de stof weergegeven in Figuur 6. Het blijkt dat de beoordelingen voor de inductieve en de deductieve lesmethode ongeveer gelijk waren, hoewel er voor de deductieve lesmethode een paar uitschieters naar beneden voorkomen. De lagere beoordeling voor de deductieve lesmethode is echter niet statistisch significant, want de Mann-Whitney-Willcoxon ranking test geeft hier een kans van 13,9% op een gelijke verdeling. Daarom kan uit deze resultaten geconcludeerd worden dat de inductieve lesmethode een positiever effect heeft op de beoordelingen die leerlingen geven aan de geleerde concepten.



FIGUUR 6. AANTAL BEOORDELINGEN PER LESMETHODE VOOR BEHANDELEN INHOUD. DE KANS DAT BEIDE LESMETHODEN UIT DEZELFDE VERDELING KOMEN IS 13,9% (MANN-WHITNEY P=0,139). LIKERTSCHAAL NOTATIE ALS IN TABEL 7.

Als de Kruskal-Wallis ANOVA wordt gebruikt om de lesmethoden zowel vooraf als achteraf direct te vergelijken, dan neemt het verschil in de beoordelingen tussen de inductieve en de deductieve lesmethode toe, zoals te zien is in Tabel 13. Op grond van dit verschil is de kans op een gelijke verdeling nog wel significant aanwezig met een kans van 13,5%. Volgens deze test kan dus niet worden geconcludeerd dat de inductieve lesmethode daadwerkelijk een positiever effect heeft op de beoordelingen dan de deductieve lesmethode. Er is echter wel voldoende aanleiding om te suggereren dat de twee lesmethoden een ander resultaat kunnen opleveren.

TABEL 13. GEMIDDELDE RANK VAN DE BEOORDELING VOOR EN NA BEHANDELEN INHOUD VOLGENS DE KRUSKAL-WALLIS ANOVA. DE KANS DAT BEIDE LESMETHODEN UIT DEZELFDE VERDLING KOMEN IS 13,5% (KRUSKAL-WALLIS P=0,135).

	<i>inductief</i>	<i>deductief</i>
vooraf	36.2	25.9
achteraf	36.6	24.9

Beide lesmethoden resulteren dus in betere toepassing van de concepten in het ontwerp, zoals blijkt uit de benoemingen. De inductieve lesmethode levert daarnaast hogere beoordelingen van de concepten op, waaruit blijkt dat de leerlingen zich beter bewust zijn van het belang van de concepten die ze gebruiken. Wel moet vermeld worden dat de conclusies gebaseerd zijn op een kleine groep leerlingen en dat er niet gegeneraliseerd kan worden naar een algemene conclusie dat de inductieve lesmethode overall beter zal werken.

Een ontwerpopdracht lijkt een goede manier om het internaliseren van natuurkundige concepten te testen. De beoordeling van de concepten in het ontwerp is een zeer waardevolle toevoeging op puur de benoemingen, omdat het duidelijk wordt of leerlingen zich bewust zijn van de toepassing van hun kennis. Bovendien zorgt een kleine groep van leerlingen al voor een grote hoeveelheid data, waardoor een statistische evaluatie van de resultaten mogelijk wordt en conclusies kan versterken.

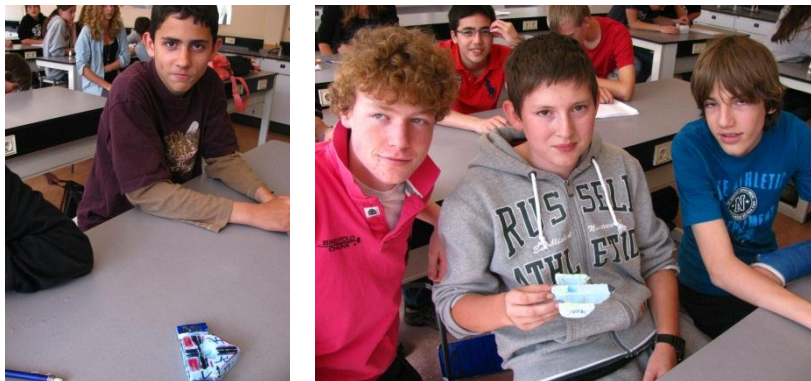
## 4.2 INDIVIDUELE RESULTATEN

### GROEP 1 – HOOFDGROEP A (WRIJVING EN STABILITEIT INDUCTIEF / DRIJVEN EN FORM DEDUCTIEF)

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Alleen tijdens LO	<i>Stabiele boot ontworpen. Ook een goed LO voor stabiliteit en vorm, drijven en wrijving juist weer incompleet. Moesten aan het begin wennen aan niveau, boot met vlaggetjes bedacht en waren druk.</i>
Drijven	Kennis alles goed Begrip alles fout	Vooraf voor LO	
Vorm	Verbetering van kennis	Belangrijk na LO	
Stabiliteit	Verbetering van begrip	Belangrijk na LO	

### GROEP 2 – HOOFDGROEP A (WRIJVING EN STABILITEIT INDUCTIEF / DRIJVEN EN FORM DEDUCTIEF)

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Alleen tijdens LO en eindpresentatie	<i>Erg stabiele boot ontworpen. Hadden vanaf het begin een trimaran, die alleen niet zo snel was. Hadden aansporing en hulp nodig om LO op te starten maar deden dat daarna erg goed. Erg goed LO gedaan, alleen drijven niet optimaal.</i>
Drijven	Kennis alles goed Begrip verbetering	Middelmatige score, wordt na uitleg minder	
Vorm	Eén vraag alles fout Eén vraag veel goed	Middelmatige score	
Stabiliteit	Geen verandering Ongeveer helft goed	Middelmatige score, wordt na uitleg minder	



FIGUUR 7. FOTO VAN GROEP 1 (LINKS) EN GROEP 2 (RECHTS) MET HET EINDONTWERP.

#### Groep 1

De kennis van deze groep lijkt toegenomen voor alle onderwerpen behalve voor het onderwerp drijven. De groep moest duidelijk leren onderzoeken. De laatste twee concepten zijn daardoor beter onderzocht, vaker genoemd en gebruikt en positiever beoordeeld. Uit de observaties en de conceptentest blijkt dat alleen bij het inductief behandelde stabiliteit begrip is toegenomen. Dit is ook duidelijk in het ontwerp verwerkt.

#### Groep 2

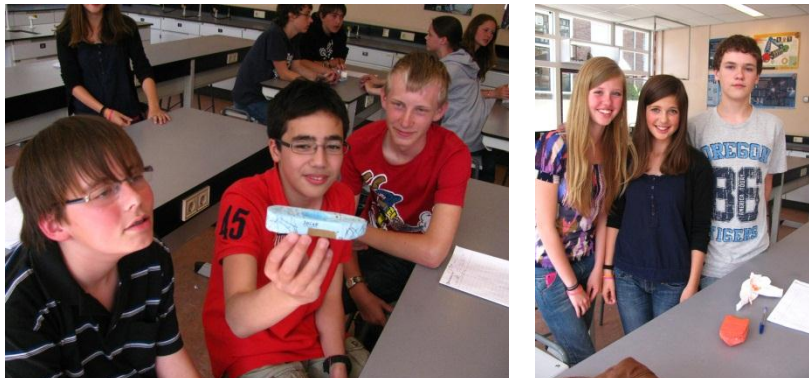
Deze groep beoordeelt de eerste twee concepten ongeveer even goed en vaak als de laatste twee concepten. Ze hebben daar ook relatief veel van geleerd in de conceptentest. Hoewel de leerlingen onderzoeken niet helemaal natuurkundig juist waren blijkt wel inzicht in de onderzoeksmethodologie. Uit de lagere beoordelingen tussendoor en het noemen van alle concepten in de eindpresentatie blijkt ook dat zij continu de verschillende concepten in het oog hielden. Hierdoor kwam wel een onvolledige conclusie over drijven terug in het eindontwerp. In de conceptentest werd echter wel weer verbetering waargenomen bij dit concept. Verder zijn de verschillen tussen deductief en inductief behandelde concepten beperkt. Ze hebben hun eerste ontwerp niet veranderd tijdens de lessenserie, maar wel de concepten erin verwerkt en benoemd.

**GROEP 3 – HOOFDGROEP A (WRIJVING EN STABILITEIT INDUCTIEF / DRIJVEN EN FORM DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Zakte even af maar weer belangrijk bij eindontwerp	<i>Hadden de snelste boot. Ze hebben goed LO voor wrijving en stabiliteit gedaan. Drijven en vorm waren incompleet. Tweede geworden i.v.m. incompleet LO. Grote verschillen binnen de groep wat motivatie betreft.</i>
Drijven	Kennis alles goed Verbetering van begrip	Ook vooraf, maar in het eindonderzoek niet	
Vorm	Goed en blijft goed	Vanaf LO in het eindontwerp	
Stabiliteit	Half goed, geen verschil	Niet genoemd	

**GROEP 4 – HOOFDGROEP A (WRIJVING EN STABILITEIT INDUCTIEF / DRIJVEN EN FORM DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Niets ingevuld	<i>Enige LO dat goed is gegaan is drijven. Kapseizen is redelijk. Goed LO enkel na intensieve aandacht van de docent. Wel goede aantekeningen gemaakt bij hoorcollege.</i>
Drijven	Kennis verbeterd Begrip blijft slecht	Middelmatige score in les van LO	
Vorm	Kennis toegenomen	Wisselvallig vooraf, erna goed	
Stabiliteit	Begrip toegenomen tot helft goed	Na LO positief beoordeeld	



FIGUUR 8. FOTO VAN GROEP 3 (LINKS) EN GROEP 4 (RECHTS) MET HET EINDONTWERP.

**Groep 3**

Deze groep had als een van de weinige groepen een goed leerlingenonderzoek naar het inductief behandelde concept wrijving. Dit was een belangrijk concept voor de wedstrijd, ze hebben dan ook de snelste tijd behaald. In de conceptentest komt het leergedrag op dit concept er ook het beste uit. Voor het inductieve concept stabiliteit is een slimigheid toegepast om het gewicht zo laag mogelijk te krijgen, maar dit lijkt meer geluk dan wijsheid, omdat het in de ontwerponderbouwing niet en in de conceptentest relatief slecht naar voren komt. Het eindontwerp is ook als een van de weinige ontwerpen meer op drijven dan op stabiliteit gericht, wat vorm van de boot betreft. Het begrip is het meest toegenomen voor het deductief behandelde drijven.

**Groep 4**

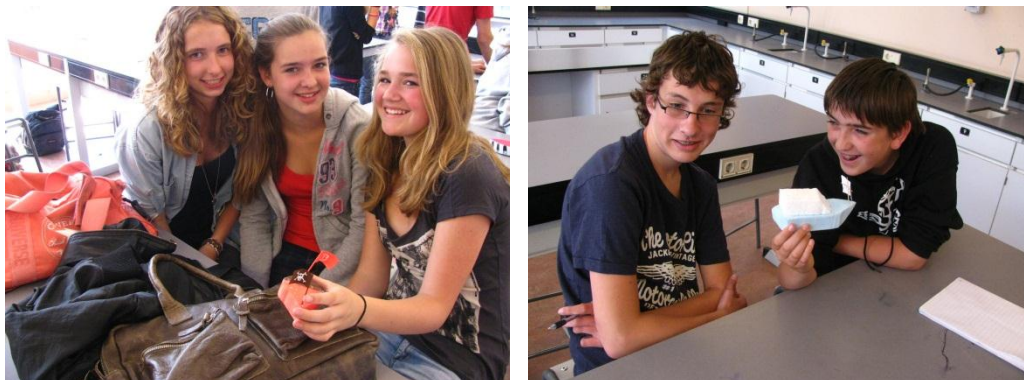
Deze groep had net als groep 1 moeite met onderzoeken, waardoor de laatste twee leerlingenonderzoeken beter gingen. Deze werden daarom ook vaker genoemd in de ontwerponderbouwing. Verder waren alle concepten wat kennis betreft wel verbeterd in de conceptentest, maar alleen bij het inductief en goed onderzochte stabiliteit is het begrip toegenomen. De goede score op de kennisvragen en de goede aantekeningen van de docentenuitleg typeren dit als een VWO-groepje.

**GROEP 6 – HOOFDGROEP B (DRIJVEN EN VORM INDUCTIEF / WRIJVING EN STABILITEIT DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis, relatief slecht gemaakt	Enkel in eindpresentatie	<i>Alleen het LO naar vorm is goed uitgevoerd. Weinig serieus bezig geweest. Een aantal LO's niet ingeleverd. Onderzoek wrijving en stabiliteit mist. Groepje heeft wel goede aantekeningen gemaakt bij de hoorcolleges.</i>
Drijven	Kennis licht verbeterd Begrip alles fout	Eenmaal positief beoordeeld later	
Vorm	Kennis licht verbeterd	Positief na behandeling in LO	
Stabiliteit	Duidelijke verbetering van begrip	Positief na behandeling in LO	

**GROEP 7 – HOOFDGROEP B (DRIJVEN EN VORM INDUCTIEF / WRIJVING EN STABILITEIT DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Gemiddeld in les van het LO en positief in eindontwerp	<i>Serieus, maar soms een beetje onrustig. LO's waren erg goed behalve voor drijven. Tonen wel enigszins geïnternaliseerd inzicht in de concepten stabiliteit en vorm achteraf, maar maken de vragen weer heel slecht. Eén van de drie deelnemers was veel afwezig en is niet meegeteld in de conceptentest.</i>
Drijven	Verbetering van kennis Verbetering van begrip	Positief in les van het LO en eindontwerp	
Vorm	Lichte verbetering, nog niet alles goed	Verbeterde waardering na LO over onderwerp	
Stabiliteit	Alles fout voor en na	Pas na LO over onderwerp benoemd	



FIGUUR 9. FOTO VAN GROEP 6 (LINKS) EN GROEP 7 (RECHTS) MET HET EINDONTWERP.

*Groep 6*

Een van de minst serieuze groepen. De boot werd niet getest, maar wel versierd. De ontwerponderbouwing is niet erg specifiek, het ontwerp is amper gebaseerd op onderzoek. Het ontwerp lijkt voornamelijk gebaseerd op de klassikale uitleg door de docent. Op alle concepten is de kennis verbeterd; voor het deductief behandelde concept stabiliteit springt de begripstoename eruit. De eerste twee leerlingenonderzoeken zijn slecht uitgevoerd. De laatste twee onderwerpen zijn beter onderzocht en positief beoordeeld in het ontwerp. Er is daarom bij deze groep moeilijk onderscheid te zien tussen inductief en deductief behandelde onderwerpen.

*Groep 7*

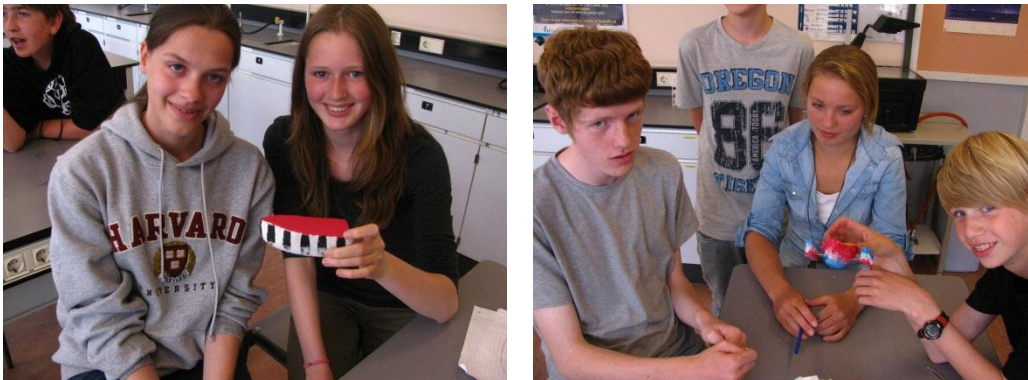
De leerlingenonderzoeken zijn goed uitgevoerd, behalve voor drijven. Dit was een inductief concept voor deze groep. Wel begripvoortgang voor drijven in de conceptentest. Dit geldt ook voor het inductief behandelde concept vorm. Voor het deductieve concept stabiliteit zijn de vragen van de test niet verbeterd, dit komt ook slecht naar voren in het ontwerp. Voor wrijving enkel verbetering van kennis. De ontwerponderbouwing was erg toegespitst op het onderwerp van de les, terwijl er wel veel totaal andere concepten genoemd werden.

**GROEP 8 – HOOFDGROEP B (DRIJVEN EN VORM INDUCTIEF / WRIJVING EN STABILITEIT DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Zijn van vorm naar wrijving gegaan en tweede vraag vergelijkbaar	Positief in les en les erna Niet in eindontwerp	<i>Hebben de wedstrijd gewonnen. Meest serieuze groep. Elk onderzoek serieus uitgevoerd. LO van wrijving hadden ze een lange boot met een beter resultaat, doordat deze boot beter rechttuit voer. Antwoorden zie je terug in het ontwerp en de conceptentest. Eén leerling was niet aanwezig bij de conceptentest en is niet meegerekend in de resultaten.</i>
Drijven	Kennis alles goed Verbetering van begrip	Minst belangrijk na de les van LO zelf, les later en eindontwerp positief	
Vorm	Beetje verbeterd	Positief in en voor LO en eindontwerp	
Stabiliteit	Alles goed	Veel genoemd als niet relevant, werd wel belangrijker	

**GROEP 9 – HOOFDGROEP B (DRIJVEN EN VORM INDUCTIEF / WRIJVING EN STABILITEIT DEDUCTIEF)**

Concept	Conceptentest	Ontwerponderbouwing	Observatie
Wrijving	Verbetering van kennis	Alleen positief na LO en eindonderwerp	<i>In het begin behoorlijk actief, maar later incompleet onderzoek. Na een paar LO's verschillen in de groep wat inzet betreft. Het eindontwerp was instabiel en heeft daarom nog drijvers gekregen.</i>
Drijven	Geen verschil, goede kennis, slecht begrip	Alleen gemiddeld na LO en eindonderwerp	
Vorm	Beetje verbeterd	Vooraf wisselend, gemiddeld na LO en eindonderwerp	
Stabiliteit	Begrip toegenomen tot meer dan helft goed	Vooraf positief, niet in les van LO wel in eindontwerp	



FIGUUR 10. FOTO VAN GROEP 8 (LINKS) EN GROEP 9 (RECHTS) MET HET EINDONTWERP.

**Groep 8**

Deze groep heeft erg serieus onderzoek uitgevoerd en kreeg goede resultaten. De onderzoeksresultaten kwamen sterk terug in de ontwerpen. Dit is ook te zien in het onderzoek over wrijving dat tot andere resultaten leidde. Deze groep probeerde duidelijk de verschillende concepten te combineren. Dit is te zien in de afwegingen die in de ontwerpen werden gemaakt; veel bewuste keuzes. Toen het concept stabiliteit ter sprake kwam werd bijvoorbeeld een trimaran onderzocht. Het diepgaande conceptuele inzicht bleek ook uit de conceptentest, waarin iemand uit dit groepje als enige een begripsvraag over drijven goed had. Deze groep noemde ook als enige specifiek getallen bij het eindontwerp over volume en diepgang van de boot. Dit onderwerp was inductief behandeld. Het concept vorm was ook inductief behandeld en leverde bij deze groep als onderzoeksresultaat een snelle boot op bij een platte achterkant. Dit ging tegen de docentenuitleg in, maar kwam wel terug in het eindontwerp. Het concept stabiliteit was een thema dat continu terugkwam, uiteindelijk resulterend in een vrij brede boot.

### *Groep 9*

De deductieve concepten lijken in deze groep tot begripstoename te leiden. Dit kwam in het eindontwerp alleen niet naar voren. Vooraf aan de behandeling van het concept stabiliteit noemden ze dit al, maar hun eindontwerp bleek instabiel. Hierdoor werden ze gedwongen zich opnieuw op dit concept te richten. Na deductieve behandeling was het onderwerp dus nog slecht aangekomen. Na extra aandacht voor stabiliteit ging dit in de conceptentest beter.





## 5. CONCLUSIE

### 5.1 ALGEMENE TRIANGULATIE

Uit de observaties, de conceptentesten en de ontwerponderbouwingen van de groep leerlingen als gemiddelde volgen enkele uniforme resultaten. Zo blijkt het dat het leerresultaat voor zowel de inductieve als de deductieve lesmethode vrijwel hetzelfde is. Leerlingen passen namelijk de geleerde concepten uit de leerlingonderzoeken voor beide lesmethoden ongeveer evenveel toe in hun ontwerp, wat blijkt uit de observaties en de ontwerponderbouwingen, en leerlingen scoren ongeveer even goed op de conceptentest. Het is duidelijk dat dit leerresultaat positief is; uit zowel de conceptentesten als de ontwerponderbouwingen volgt dat leerlingen na afloop van de lessenserie meer weten van de concepten dan vooraf. Dit resultaat is in beide gevallen niet te generaliseren naar algemene uitspraken over de lesmethoden door de relatief kleine groep leerlingen, maar de combinatie van deze twee meetinstrumenten geeft wel een goede inschatting.

Toch is er, wanneer de resultaten aandachtiger worden bestudeerd, wel een verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode. Hoewel leerlingen na beide lesmethoden ongeveer evenveel kennis lijken te hebben van de concepten, leidt de inductieve lesmethode bovendien tot meer bewust begrip en bewuste toepassing van de geleerde concepten. Dit blijkt uit een duidelijker beschreven toepassing van de concepten in de ontwerpen, het vaker bewust benoemen van een concept bij de begripsvragen in de conceptentest en een hogere beoordeling van de concepten in de ontwerponderbouwing. De combinatie van deze drie elementen zorgt voor een nog grotere waarschijnlijkheid dat de inductieve lesmethode zorgt voor betere internalisering van natuurkundige concepten dan de deductieve lesmethode, omdat alle drie de meetinstrumenten uniforme resultaten opleveren en dus betrouwbaar overkomen. Daarnaast zijn er nog aanwijzingen uit de observaties dat de motivatie van leerlingen bij de inductieve lesmethode beter is doordat leerlingen meer geïnteresseerd zijn in de stof als de docent nog geen uitleg heeft gegeven, wat niet alleen een positief leereffect kan hebben, maar ook prettig is voor de sfeer in de klas.

Uit de ontwerpen van de leerlingen komen dezelfde resultaten naar voren als uit de conceptentesten en de observaties. Dit zorgt door triangulatie niet alleen voor een betrouwbaarder eindresultaat, maar laat ook zien dat een ontwerpopdracht zeker geschikt is als meetinstrument van het internaliseren van natuurkundige concepten. Een ontwerpopdracht levert bovendien meer informatie op dan een conceptentest, voornamelijk dankzij de dualiteit van benoemingen en de beoordeling van concepten ter indicatie van de mate van bewustzijn, en is dus een zeer sterk middel om de conceptuele kennis van leerlingen inzichtelijk te maken.

## 5.2 INDIVIDUELE TRIANGULATIE

Uit de individuele resultaten blijkt dat voor beide lesmethoden de kennis duidelijk is toegenomen bij alle groepen van drie leerlingen. Aan de antwoorden op de begripsvragen in de conceptentest is in eerste instantie geen verschil tussen de inductieve en de deductieve lesmethode te zien wanneer wordt gekeken naar alle leerlingen afzonderlijk. Wel zitten de uitblinkers in de conceptentest in de inductieve groep. Ook de toepassing van concepten in de ontwerpen gebeurt vaak beter wanneer het concept inductief is behandeld. Dit geldt per groep van drie leerlingen samen, hierbij is geen onderscheid te maken tussen de leerlingen in een groep. Daarnaast zitten de uitblinkers in negatieve zin bij de toepassing van concepten in de ontwerpen alleen in de deductieve groep. De begripstoename voor deductieve concepten is bovendien ook tweemaal (de helft van de gevallen waarin dit voorkomt) gerelateerd aan problemen met het ontwerp waardoor extra aandacht aan het concept is besteed, wat betekent dat in eerste instantie het concept nog niet goed was begrepen.

Leerlingen blijken vaak in de ontwerpopdracht hun eigen gedachten en overtuigingen te tonen, wat blijkt uit meerdere groepen waarbij onjuiste uitkomsten van onderzoeken ondanks uitleg van de docent terugkwamen in de ontwerpen. Dit maakt dat ontwerpen een goede methode is om de conceptuele kennis en eigen overtuiging van leerlingen te testen. Bij de groepen met VWO leerlingen zat hier wel een groot verschil in. Enkele groepen deden erg goed onderzoek en pasten dat ook toe in het ontwerp, terwijl andere groepen het onderzoek niet serieus aanpakten en volledig vertrouwden op de uitleg van de docent.

Concepten werden vaker goed onderzocht bij de inductieve lesmethode. Dit is opmerkelijk, omdat deductief behandelde concepten al in de uitleg aan bod zijn gekomen en leerlingen dus betere voorkennis zouden moeten hebben wanneer ze aan het onderzoek beginnen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat leerlingen andere gerelateerde concepten kozen om te onderzoeken dan bedoeld was aangezien ze het bedoelde concept niet meer interessant vonden. Leerlingenonderzoeken blijken wel erg belangrijk voor het resultaat van de ontwerpen en de conceptentest. Goed onderzoek is bij de groepen van drie leerlingen vaak gerelateerd aan een goed ontwerp en aan juiste antwoorden op de vragen over het betreffende concept in de conceptentest. Daarom is dit gebrek aan motivatie voor goed leerlingenonderzoek naar een concept dat al is uitgelegd door de docent een duidelijk nadeel aan de deductieve lesmethode, mits natuurlijk leerlingen dezelfde vrijheid krijgen om hun eigen onderzoek te bedenken als bij de inductieve lesmethode.

### 5.3 EINDCONCLUSIE

Uit de algemene en individuele resultaten kunnen een aantal conclusies getrokken worden aangaande het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode en het gebruiken van een ontwerpopdracht als meetinstrument. Deze conclusies worden versterkt door de triangulatie van drie verschillende meetmethoden, maar zijn wel gebaseerd op een zeer kleine steekproef van in totaal 22 leerlingen en dus niet representatief voor de onderbouw in Nederland. De combinatie van conceptentest, observaties en ontwerponderbouwingen geeft toch een duidelijke indicatie en de conclusies kunnen dienen als een goed uitgangspunt voor vervolgonderzoek met een grotere groep leerlingen.

Zowel de inductieve als de deductieve lesmethode resulteert in een duidelijke toename van de conceptuele kennis van de leerlingen. Wanneer echter gekeken wordt naar bewust begrip, waarbij een concept expliciet als uitleg wordt genoemd, dan blijkt de inductieve lesmethode effectiever dan de deductieve lesmethode. Leerlingen zijn beter in staat om een concept uit te leggen en beoordelen de toepassing van het concept in hun ontwerp positiever. Bij de inductieve lesmethode blijken leerlingen ook beter onderzoek naar een concept uit te voeren dan bij de deductieve lesmethode. Dit heeft voornamelijk te maken met motivatie, zonder uitleg vooraf is onderzoek interessanter. Beter onderzoek resulteert vervolgens in betere toepassing van het onderzochte concept in een ontwerp. Dit is dus een sterk voordeel van de context-concept benadering die centraal staat in de inductieve lesmethode. Wel is de kans groter bij de inductieve lesmethode dat onderzoek een foutieve conclusie oplevert. Deze foutieve conclusie blijft vervolgens lang aanwezig in de redeneringen van leerlingen en is moeilijk te corrigeren. Een docent zal zich bij een inductieve lesmethode hier goed van bewust moeten zijn om dergelijke fouten direct recht te zetten. Samen zijn dit twee belangrijke aanwijzingen dat de inductieve lesmethode leidt tot betere internalisering van natuurkundige concepten dan de deductieve lesmethode, mits valkuilen bekend zijn en worden vermeden.

Een ontwerpopdracht levert een duidelijk beeld op van het conceptuele raamwerk van een groep leerlingen. Het blijkt dat leerlingen in een ontwerp concepten toepassen uit hun eigen overtuiging, zelfs als deze in strijd is met de uitleg van de docent. Bovendien is het via ontwerpen mogelijk om te testen of leerlingen zich bewust zijn van hun kennis en kan uit een ontwerp, in combinatie met observaties, deze kennis zeer goed worden getest, omdat leerlingen al hun kennis moeten gebruiken om tot een degelijk eindontwerp te komen. Een ontwerpopdracht leent zich daarom uitermate goed als meetinstrument van het internaliseren van natuurkundige concepten. Daarnaast leveren de waarderingen van concepten in de onderbouw van een ontwerp veel data op waaruit bij een kleine groep leerlingen al statistisch significante resultaten naar voren komen die aangeven of leerlingen zich bewust zijn van hun kennis. Een nadeel is wel dat door groepswork de kennis van de groep als geheel naar voren komt en niet van de individuele leerlingen. Uit de combinatie met de conceptentest blijkt dat de kennis van individuele leerlingen wel in grote lijnen overeenkomt met wat ze in een groep van drie leerlingen laten zien, maar dat er toch ook nog steeds verschillen binnen de groep optreden die niet duidelijk naar voren komen wanneer alleen de ontwerpopdracht wordt geanalyseerd.

De conclusies van dit onderzoek sluiten goed aan bij het theoretisch kader. Ten eerste spreken de resultaten in het voordeel van de context-concept benadering of de inductieve lesmethode. Wel blijft het onzeker of de resultaten kunnen worden gegeneraliseerd naar algemene conclusies over de lesmethoden, volledig in lijn met eerdere bevindingen. Er zijn dus wel indicaties dat de inductieve lesmethode beter werkt, maar ook in dit onderzoek blijft doorslaggevend bewijs uit. Toch zijn er aanwijzingen dat vervolgonderzoek volgens de hier gebruikte methode sterkere conclusies op kan leveren en dus eindelijk meer zekerheid kan bieden in de theorie over de context-concept benadering. Ten tweede ondersteunen de resultaten van de ontwerpopdracht het gebruik van ontwerpen om het theoretisch raamwerk van leerlingen bloot te leggen, hoewel door groepswork individuele verschillen slecht aan het licht komen. De bevinding dat leerlingen bij een matig onderbouwd ontwerp nog een keer de ontwerpcyclus moesten doorlopen om een goed eindproduct te krijgen en daardoor het concept veel beter gingen begrijpen sluit naadloos aan bij de conclusies van Arntzen en Verbaas over het verdiepen van conceptuele kennis door het cyclische karakter van ontwerpen.

Ter afsluiting nog een opmerking van een leerling tijdens het uitvoeren van een onderzoek volgens de inductieve lesmethode die mooi aansluit bij deze conclusies: "De kleine boot is sneller dan de lange, terwijl we dat niet hadden verwacht".



## 6. DISCUSSIE & REFLECTIE

### 6.1 DISCUSSIE

Dit onderzoek is uitgevoerd als oriëntatie op het verschil tussen een inductieve en een deductieve lesmethode, met als doel om te kijken of uitgebreid en grootschalig onderzoek wenselijk is. De resultaten uit dit onderzoek zijn veelbelovend, maar missen statistische significantie om veralgemeniseerd te worden en zo de context-concept benadering van de Nieuwe Natuurkunde (NiNa) te valideren. Het is dus zeker wenselijk om vergelijkbaar onderzoek uit te voeren met een grotere groep leerlingen en wellicht ook voor andere natuurkundige concepten. Uit dit onderzoek zijn ook enkele verbeterpunten naar voren gekomen met betrekking tot de meetinstrumenten en de aanpak van de lessenserie. Deze worden hier besproken.

Uit de resultaten van de conceptentesten kwam naar voren dat vooral de begripsvragen een duidelijk verschil tussen de twee lesmethoden illustreerden. In de gebruikte conceptentesten zaten echter slechts begripsvragen over twee concepten, waardoor de andere twee concepten geen overtuigende resultaten opleverden. Bovendien bleek de vraagstelling bij sommige vragen niet optimaal. Een conceptentest in een volgend onderzoek zal meer vragen moeten bevatten per concept die betrekking hebben op alle drie de laagste niveaus binnen de Taxonomie van Bloom voor een duidelijker onderscheid tussen de inductieve en deductieve lesmethode. Bovendien is het verstandig om de testen net als Hestenes (Hestenes 1992) te construeren uit veel antwoorden op open vragen. Vanwege de kleinschaligheid van dit onderzoek was dat niet mogelijk, maar daar hebben de conceptentesten wel onder geleden qua kwaliteit.

De ontwerponderbouwingen leverden vaak “heel belangrijk” op als waardering voor een concept. Daardoor was er weinig onderscheid in beoordelingen tussen de twee lesmethoden. Het zou verstandig zijn om meer opties in de Likertschaal op te nemen met verschillende gradaties van belangrijk, zodat leerlingen niet altijd de hoogste beoordeling kiezen. Het blijkt namelijk dat “onbelangrijk” of “neutraal” vrijwel niet voorkomen, terwijl mindere maten van belang nog wel in enkele gevallen worden genoemd. Dit kan worden verbeterd door de meest belangrijke schaal extremer te formuleren, bijvoorbeeld als “meest belangrijk”, en te zorgen voor voldoende opties die een bepaalde mate van belang aangeven.

Tijdens het uitvoeren van de lessenserie kwamen ook enkele moeilijkheden van de lesmethoden aan het licht. Zo bleek dat leerlingen af en toe net wat meer sturing nodig hadden tijdens het leerlingonderzoek op de inductieve manier, omdat ze nog geen uitleg gehad hadden. Dit werd beter door de vrijheid in het onderzoeken te beperken via het aanbieden van beperkte opstellingen en materiaal. Dit beperkt de vrijheid in onderzoek op een objectieve manier. In Bijlage: lesinhoud zijn meer van deze observaties opgenomen die de kwaliteit van de lessenserie hebben beïnvloed. Verder werden de onderzoeksresultaten soms ook verstoord door concepten die op dat moment niet getest werden, zoals een lange boot die veel sneller ging dan een korte doordat hij veel stabielier door het water gleed. Deze fouten blijken de conceptuele kennis van de leerlingen negatief te beïnvloeden, dus het is belangrijk om de leerlingonderzoeken goed in het oog te houden en te proberen dit soort verstoringen te voorkomen. Het totaal aan observaties is een zeer nuttige bron van informatie om rekening mee te houden bij het ontwerpen van een vergelijkbare nieuwe lessenserie. De concepten die tijdens deze lessenserie werden aangeleerd bleken wel relevant voor de doelgroep, aangezien leerlingen al duidelijk enige voorkennis hadden en na afloop van de lessenserie veel vooruitgang toonden qua kennis, begrip en toepassing van de concepten. Dit was vanzelfsprekend zeer belangrijk voor het verkrijgen van resultaten.

De docent van de lessenserie zou invloed kunnen hebben op de resultaten van het onderzoek. Er is gekozen om alle lessen door dezelfde docent te laten geven en onderdelen zoals uitleg en leerlingonderzoek gelijk te laten lopen voor beide lesmethoden om de rol van de docent niet te laten verschillen, maar door middel van onbewuste sturing richting een gewenst resultaat in de vorm van bijvoorbeeld feedback naar leerlingen kan het onderzoeksresultaat toch zijn beïnvloed. Aangenomen wordt dat deze invloed voor dit onderzoek zeer klein is, aangezien de docent de groepen leerlingen bewust allemaal gelijk heeft behandeld. Bovendien hebben de leerlingen bepaalde concepten via de inductieve lesmethode en andere concepten via de deductieve lesmethode geleerd, waardoor verschillen in de omgang met de groepen leerlingen geen invloed zullen hebben op het verschil tussen de twee lesmethoden. Toch is het voor de betrouwbaarheid van de resultaten verstandig om in vervolgonderzoek meerdere klassen door verschillende docenten te laten onderwijzen, zodat bepaald

kan worden in welke mate de docent van invloed is op de resultaten. Een docent blijft immers gewoon een mens en kan altijd fouten maken.

Als laatste zou een goede toevoeging voor vervolgonderzoek zijn om niet alleen te kijken naar het verschil tussen de inductieve en deductieve lesmethode, maar om ook te onderzoeken hoe beide methoden uitgevoerd moeten worden voor het maximale leerresultaat. In dit onderzoek kwam bijvoorbeeld al naar voren dat het belangrijk is om bij de inductieve lesmethode goed zicht te houden op de leerlingenonderzoeken en de daaruit komende resultaten, omdat deze zeer belangrijk zijn voor de verdere internalisering van de concepten. Dergelijke opmerkingen zijn zeer nuttig voor docenten om hun lessen zo goed mogelijk in te richten. Zeker als de inductieve methode uiteindelijk naar voren komt als meest geschikte methode voor het internaliseren van natuurkundige concepten, is het van wezenlijk belang om vervolgens deze methode verder te perfectioneren.

## 6.2 REFLECTIE ARJAN

Terugblikkend op het gehele onderzoek denk ik dat er een behoorlijk onderzoek is uitgevoerd. Relevant voor de recente ontwikkelingen in het onderwijs en goed aansluitend bij de praktijk in de klas. De leerlingen hebben een waardevolle lessenserie gehad, waarin veel belangrijke zaken als onderzoek doen, ontwerpen, motiveren, presenteren etc. voorbij zijn gekomen. De leerlingen waren daarnaast ook enthousiast, wat ook belangrijk is voor het verder gebruik van het ontworpen meetinstrument. De concepten sloten goed aan bij de leerlingen, waren spannend genoeg om te boeien, maar ook niet te makkelijk. De basis van het onderzoek verliep goed, het idee van de conceptmotivatiebladen, de planning van uitleg en onderzoek werkte goed en lijkt betrouwbare resultaten op te leveren. Twee belangrijkste verbeterpunten:

- “recht varen- symmetrie van de boot” in de les behandelen al dan niet als concept, omdat dit veel verstoring voor de onderzoeken van de leerlingen opleverde.
- Veel hele hoge waarderingen. Het is bijzonder dat er nu al significante verschillen zijn.
- Pre-fab materiaal. De latere onderzoeken gingen beter omdat we de onderzoeksmogelijkheden hadden beperkt door meer kant en klaar onderzoeksmateriaal te geven in plaats van volledige vrijheid.

Persoonlijk vond ik het erg leuk om de ontwerp/wedstrijd/leeromgeving voor de leerlingen te creëren. Je krijgt heel veel feedback in de klas, maar ook door de resultaten zo direct te bestuderen. Deze lessen zijn iets meer ontspannen dan klassikale natuurkunde lessen in het opzicht dat er wat meer vrijheden voor leerlingen en mogelijkheid tot eigen initiatief is. Dat maakt het erg leuk om te doen. De hele les opzet van het ontwerpen van bootjes, is er een om te onthouden en later nogmaals toe te passen omdat ik erg veel enthousiasme van leerlingen en enorme vooruitgang in onderzoekskwaliteit heb gezien.

Het was goed om met twee mensen in de klas te zijn; er was vrij veel tijd nodig om de onderzoeksplannen goed te keuren voor volgende fases in het onderzoek. Daarnaast wordt er in de klas onderzocht en gebouwd. Hierin was het goed samenwerken met Frank, we konden elkaar goed aanvullen. Dit geldt niet minder voor het opzetten van het onderzoek, verwerken van resultaten en het schrijven van het verslag. Door het gezamenlijke eigendom van het project, waarin we beiden verantwoordelijkheid voelden, is de opzet erg scherp geworden, wat erg goed was voor de kwaliteit van het eindresultaat. Ditzelfde geldt voor mr. Jacobs, die goede feedback niet schuwde en ondanks zijn bedrijvigheid uitgebreid aandacht heeft gehad voor opzet en resultaat, dank daarvoor. Ditzelfde geldt ook voor mr. Van der Sanden die ook bereid was waardevol advies te geven.

### 6.3 REFLECTIE FRANK

Met tevredenheid kijk ik terug op dit Onderzoek van Onderwijs. Hoewel de gegeven lessenserie erg veel tijd en energie kostte, bood het ook genoegdoening en plezier. Daarnaast is het voor mij leerzaam geweest, zowel in het kader van het uitvoeren van onderzoek als voor het organiseren en doceren van een dergelijk project. Hier zal ik kort reflecteren op het onderzoek, op mijn eigen rol hierin, op mijn leerproces en op de relevantie van de ervaring die ik heb opgedaan voor een eventuele toekomstige carrière als docent.

Het onderzoek is naar mijn idee zeer goed gelukt. Het resultaat mag er dan ook wezen. Ik ben vooral tevreden over de duidelijke opzet van een toch behoorlijk ingewikkeld onderzoek en over het bijbehorende resultaat. Dat het gelukt is om dit lastige onderwerp redelijk georganiseerd aan te pakken en zo te komen tot scherpe conclusies zorgt daarom vooral voor een gevoel van opluchting en trots. Hierbij moet ik Arjan dankbaar zijn, die zich heeft onderscheiden met zeer creatieve en relevante ideeën. De samenwerking was vrijwel perfect; Arjan kwam vaak met ideeën en oplossingen, terwijl ik hem af en toe in toom kon houden en zijn ideeën verder kon verbeteren naar het uiteindelijke product. Hierdoor hebben we een lessenserie neer kunnen zetten die leerzaam en leuk was voor de leerlingen en daarnaast de gehoopte resultaten opleverde voor ons onderzoek.

Natuurlijk zijn er ook aspecten aan het onderzoek minder goed verlopen. Waar ik het meest teleurgesteld over ben zijn de resultaten van de conceptentest. Hier hebben we veel aandacht aan besteed, maar uiteindelijk was er maar weinig onderscheid te zien doordat we ons niet volledig aan het stramen van Hestenes hebben gehouden bij het maken van de test. Dit was ook niet mogelijk gezien de tijdsindeling (een conceptentest volgens de methode van Hestenes maken zou al snel de helft van de beschikbare tijd in beslag nemen). Toch zou ik dit graag beter gedaan hebben. Verder viel het schrijven van een verslag behoorlijk tegen. Niet alleen kostte het schrijven meer tijd dan bij natuurkundig verslag, maar bovendien lag de nadruk anders waardoor de eerste versie voor veel verbetering vatbaar was. Dankzij een zeer uitgebreide evaluatie van dhr. Jacobs hebben we gelukkig wel een grote verbetering kunnen leveren. Vooral het verantwoorden van meetinstrumenten is logischerwijs zeer belangrijk bij dit onderzoek en hebben we onderschat, omdat bij natuurkundig onderzoek gemakkelijk aan deze stap wordt voldaan door resultaten met bekende resultaten te vergelijken.

Mijn rol in dit onderzoek was als docent van de lessenserie de leukste. Ik mocht uitleg geven en was het directe aanspreekpunt van de leerlingen. Bovendien werd ik in materiaal en voorbereiding goed ondersteund door de amanuensis van de school, waar ik erg dankbaar voor ben. Hier is wel Arjan wederom van grote waarde geweest, omdat er zonder hem veel meer chaos was ontstaan. Hij hielp de leerlingen op weg en trad op tegen wangedrag wanneer ik dit verzuimde. Klassenmanagement is voor mij namelijk nog steeds een aandachtspunt bij onderbouwklassen en dit verliep dan ook niet altijd even soepel. Dankzij Arjan bleven grote problemen achterwege en is orde niet negatief van invloed geweest op de lessenserie en de onderzoeksresultaten.

Het belangrijkste dat ik naar mijn idee van dit onderzoek geleerd heb, is dat bij onderzoek in onderwijs veel meer komt kijken dan ik aanvankelijk dacht. Ik zou nu een betere inschatting kunnen maken van de benodigde tijd en zou direct meer gestructureerd aan de slag gaan. Hieronder valt onder andere beter van te voren nadenken over de kwaliteit en de validiteit van de meetinstrumenten, wat gelukkig geen probleem heeft opgeleverd maar wel beter had gekund. Mijn algemene bekwaamheid in sociaalpsychologisch onderzoek is lichtelijk verbeterd, hoewel mijn natuurkundige achtergrond nog ruimschoots overheerst.

Als docent zou ik na het behalen van mijn bevoegdheid misschien vaker dit soort kleine onderzoeken uitvoeren, aangezien het leuk is om zelf tot bepaalde inzichten te komen bij een klas. Bovendien was de lessenserie met ontwerpen erg leuk en leerzaam en zeker voor herhaling vatbaar. Het kost alleen wel veel tijd en energie, zowel qua voorbereiding als in de les, dus ik zou niet meerdere van dit soort projecten parallel aan elkaar uitvoeren (behalve als het na een aantal keer allemaal al voorbereid is en vrijwel vanzelf gaat). Ook ben ik weer tegen klassenmanagement aangelopen bij deze onderbouwklas, waardoor ik momenteel liever een project aan een bovenbouwklas zou geven, waar ik eigenlijk nooit problemen heb met drukte of met orde.





## 7. LITERATUURLIJST

- Arntzen, L. and Verbaas, A. and Jacobs, M.A.F.M. and De Vries, M.J. „The deepening of understanding scientific and engineering concepts among students using a design process as a catalyst.” *Nog niet gepubliceerd*, 2012.
- Berg, E. van den. „Practicum: wonderolie voor het leren van natuurkunde?” *Woudschoten conferentie*. 1994.
- Crouch, C. and Fagen, A.P. and Callan, J.P. and Mazur, E. „Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment?” *American Journal of Physics*, 2004: 835-838.
- Ferguson-Hessler, M.G.M. and Jong, T. *Het leren van exacte vakken*. Lemma, 1993.
- Fortus, D. and Dershimer, R.C. and Krajcik, J. and Marx, R.W. and Mamlok-Naaman, R. „Design-based science and student learning.” *Journal of Research in Science Teaching*, 2004: 1081-1110.
- Hestenes, D. and Wells, M. and Swackhamer, G. „Force concept inventory.” *The physics teacher*, 1992: 141-158.
- Janssen, F. „Ombouwen van Reguliere Lessen tot Concept-Context Lessen in 5 Stappen.” In *Een enkeltje CoCo*, door A. Legierse, 49-68. SLO, 2008.
- Kim, E. and Pak, S.J. „Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems.” *American Journal of Physics*, 2002: 759-765.
- Mazur, E. *Peer instruction*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 1997.
- Roth, W.M. and McRobbie, C.J. and Lucas, K.B. and Boutonné, S. „Why may students fail to learn from demonstrations? A social practice perspective on learning in physics.” *Journal of Research in Science Teaching*, 1997: 509-533.
- Roth, W.M. „Learning science through technological design.” *Journal of Research in Science Teaching*, 2001: 768-790.
- Shekoyan, V. and Etkina, E. „Introducing Ill-Structured Problems in Introductory Physics Recitations.” *2007 Physics Education Research Conference*, 2007: 192-195.
- SLO. „Cursus Curriculumontwerp Toolkit.” *Cursus Curriculumontwerp*. 2012. <http://cursuscurriculumontwerp.slo.nl> (geopend Augustus 21, 2012).
- TUD. *Junior TU Delft*. 2011. <http://junior.tudelft.nl> (geopend Augustus 21, 2012).
- Weert, C.G. van and Pieters, M.L.M and Eijkelhof, H.M.C. *Natuurkunde Leeft: Een visie op het vak natuurkunde in havo en vwo*. Nederlandse Natuurkundige Vereniging, 2005.



## 8. BIJLAGE: CONCEPTEN

De nummers geven aan welke concepten behandeld worden en hoe deze omschreven kunnen worden. De **letters** geven aan als er meerdere concepten behandeld worden. Begrippen in *italic* zijn de begrippen die de docenten gebruiken.

1. Er is een (lineair) verband tussen  
**A** *drijfkracht*, drijfvermogen, zwaartekracht of dragen van massa, meer kunnen tillen, iets met kracht en gewicht.  
**B** *volume onder water*, waterverplaatsing.
2. Een boot is stabiel als het massazwaartepunt  
**A** *laag in de boot ligt*. Combinatie van de begrippen zwaartepunt/massa/zwaartekracht en hoogte/diepte/laag, onder water.  
**B** *in het midden van de boot ligt*. Op de symmetrieas/spiegellijn.
3. Wrijving is groot als een boot een  
**A** *groot nat oppervlak heeft*. Groot oppervlak, veel boot, et cetera. De term onder water hoeft niet noodzakelijk genoemd te worden. De relatief lage viscositeit van lucht (200 keer lager dan water) wordt niet bekend verondersteld.  
**B** *ruwer oppervlak onder water heeft*. Iets dat te maken heeft met oneffenheden of vorm en duidelijk over de structuur gaat en niet de vorm (concept 4).
4. Wrijving is afhankelijk van de vorm van de boot, want  
**A** *schouderaansluitingen veroorzaken wrijving*. Begrippen als scherpe hoeken, niet afgeronde romp, strakke lijn, overgangen, stroming van water die de vorm niet meer kan volgen. Als de voorkant of achterkant genoemd wordt in een argument telt deze niet mee (**B** en **C**).  
**B** *een afgeronde voorsteven verlaagt de wrijving*. Water kan beter langs de romp stromen bij een puntige of ronde voorsteven.  
**C** *een afgeronde achtersteven verlaagt de wrijving*. Dit komt door het verminderen van wervelingen achter de boot.
5. *Wrijving is groter als een boot een grotere snelheid heeft*.  
Enig verband tussen snelheid en wrijving genoemd, liefst door wegduwen van meer lucht/water. De naam van het begrip wrijving moet worden genoemd, maar eventueel ook tegenwerkende kracht, iets met tegengestelde richting van de snelheid, de combinatie van snelheid en botsingen met moleculen.

## 9. BIJLAGE: LESINHOUD

### LES 1 INHOUD

De eerste dag bestaat uit een inleiding van de lessenserie. Ten eerste worden leerlingen gemotiveerd voor het onderwerp door middel van voorbeelden over de praktische toepassingen van ontwerpen en het bouwen van boten. Vervolgens maken ze de pre-test als nulmeting van hun niveau. Na het maken van de pre-test wordt een begin gemaakt met het aanleren van de structuur van een ontwerpproces door middel van de ontwerpcyclus. Deze wordt daarna toegepast voor het ontwerpen van een zuinige boot, waarbij nog helemaal geen aandacht wordt besteed aan de vorm van de boot, maar vooral aan de soort aandrijving. Uiteindelijk wordt een ontwerp gemaakt van de boot die de leerlingen aan het einde van de lessenserie gaan bouwen, om te kijken in hoeverre ze nu al in staat zijn om een (fysisch mogelijk) ontwerp te maken.

### LES 1 OBSERVATIES

- Leerlingen waren niet erg enthousiast door het theoretische karakter van de les.
- Leerlingen waren niet heel serieus, boten werden bijvoorbeeld aangedreven door hamsters.
- Leerlingen besteedden meer aandacht aan een tekening van hun ontwerp dan aan het volgen van de ontwerpcyclus.
- Er kwamen meerdere fysisch onrealistische oplossingen naar boven (bijvoorbeeld een waterrad dat tijdens het varen ronddraait en zo voldoende energie opwekt voor de aandrijving).
- Het ontwerpblad bevatte (bijna) geen concepten die we graag willen aanleren.

### LES 1 VOORNEMENS

De lessenserie moet de volgende lessen echt leuk worden voor de leerlingen, zodat ze meer worden gemotiveerd en dus serieuzer aan de slag gaan.

### LES 2 INHOUD

De tweede les staat volledig in het teken van het eerste onderzoek op een inductieve manier. De ene helft van de leerlingen gaat proberen uit te zoeken waarom een boot blijft drijven, de andere helft onderzoekt de invloed van de natte oppervlakte op de wrijving van een boot. Dit gebeurt aan de hand van een werkblad en een kleine instructie over het gebruik van de apparatuur, maar verder worden de leerlingen aangespoord om zelfstandig aan de slag te gaan. Aan het eind van de les wordt weer een ontwerp gemaakt van de boot die de leerlingen aan het einde van de lessenserie gaan bouwen om te zien hoe de fysische concepten in hun hoofd groeien.

#### Materiaal:

- Drijfvermogen: Een bak water op een weegschaal, gekalibreerd op 0 gram wanneer de bak water op de weegschaal staat. Leerlingen kunnen blokken polystyreen onderdompelen in het water en aflezen op de weegschaal aan welke massa de kracht die het water uitoefent op het blok gelijk staat (zwaartekracht). Zo kunnen ze verschillende afmetingen van blokken uitproberen, en zelfs boten indien de tijd het toelaat. Op deze manier kunnen ze uitzoeken waarmee de kracht die het water omhoog uitoefent evenredig is (massa, materiaal, volume, etc.).
- Wrijving door nat oppervlak: Een langwerpige plantenbak gevuld met water, met aan het uiteinde een katrol op een statief, zodat een boot door de bak getrokken kan worden. Op twee plekken langs de plantenbak staan tijdpoorten, zo ver vanaf het begin dat een eenparige beweging van de boot mag worden verondersteld. De tijd die de boot doet over de afstand tussen de tijdpoorten is evenredig met de wrijvingskracht op de boot. Leerlingen kunnen in deze bak blokken polystyreen van verschillende afmetingen en met verschillende ladingen slepen en de tijd opmeten, om zo uit te zoeken waar de wrijving van afhankelijk is (lengte, breedte, diepgang, massa, materiaal, etc.).

### LES 2 OBSERVATIES

- Leerlingen hadden het veel meer naar hun zin.
- Leerlingen werkten hard en deden goed hun best.

- De les was behoorlijk chaotisch met lopen door de klas en twee LO's door elkaar heen, evenals met het snijden van polystyreen wat veel rotzooi geeft.
- Er werden erg creatieve, maar nogal onrealistische boten gemaakt.
- Leerlingen hadden veel moeite met gestructureerd onderzoek doen en moesten regelmatig op weg geholpen worden.
- Twee van de vier groepen vonden zelf het verband tussen opwaartse kracht en volume.
- Geen enkele groep vond het verband tussen wrijving en nat oppervlak.

## LES 2 VOORNEMENS

Er moet meer structuur worden aangebracht in LO's. Eerst moet een duidelijk ontwerp gemaakt worden dat gecontroleerd is door de docent, daarna mag dit pas gemaakt worden en kan het onderzoek worden uitgevoerd. Bovendien kan de planning bij de opstellingen beter, zodat leerlingen niet staan te wachten totdat ze kunnen meten, maar altijd nuttig bezig zijn. Verder zal wrijving door nat oppervlak duidelijk uitgelegd moeten worden zodat het onderzoek beter verloopt.

## LES 3 INHOUD

Les 3 is een logisch vervolg op de vorige les. Dezelfde LO's als in les 2 worden uitgevoerd, maar nu door de andere groepen en op een deductieve manier. Hiertoe wordt eerst een korte uitleg gegeven over de Wet van Archimedes en over wrijving door nat oppervlak. Ook wordt extra aandacht besteed aan onderzoekvaardigheden, omdat dit noodzakelijk blijkt uit de chaotische manier van onderzoeken de vorige les. Pas als de onderzoeksmethode is gecontroleerd mogen de leerlingen hun onderzoek uitvoeren. Verder mogen de leerlingen wel geheel zelfstandig aan de slag. Aan het eind van de les maken ze wederom een ontwerp van de boot die ze aan het einde van de lessenserie gaan bouwen, om te zien of de concepten van de vorige keer er nog in zitten en of er verschil is tussen de inductieve en deductieve manier van leren.

## LES 3 OBSERVATIES

- De uitleg duurde nogal lang, bijna de helft van de les.
- LO 's kwamen gelukkig wel af.
- Vijf meisjes waren afwezig wegens andere verplichtingen.
- Onderzoek en productie van boten verliep veel beter dankzij de gestructureerde aanpak.
- Deze aanpak werd even leuk gevonden als de chaotische methode van de vorige les.
- Alle groepen vonden het verband tussen opwaartse kracht en volume.
- Slechts een enkele groep vond het verband tussen nat oppervlak en wrijving.
- Een lange boot ging sneller door de sleeptank dan een vrijwel identieke kortere boot. Dit kwam door de betere stabiliteit van de lange boot, de kortere boot ging niet recht door de bak heen. Leerlingen raakten hierdoor echter wel in de war.

## LES 3 VOORNEMENS

Leerlingen extra bewust maken van de valkuilen van onderzoek. Zorgen dat er echt maar een ding wordt veranderd en de rest van de variabelen constant houden, zodat het juiste verband wordt gemeten. Dit ook gebruiken om het resultaat van de snelle langere boot te corrigeren. Hierbij nog een demonstratie houden met een vin om de stabilisatie in de vaarrichting te bevorderen en de kortere boot dus sneller te maken om de leerlingen volledig te overtuigen. Wrijving door nat oppervlak is verder nog steeds niet aangekomen en moet later nog eens worden behandeld indien de tijd dit toelaat. Nu zullen de resultaten nog tegenvallen. De afwezige meisjes voor dit onderzoek uit de resultaten schappen. Als laatste stabiliteit goed voorbereiden met vooraf gemaakt materiaal, om het onderzoek de volgende keer in goede banen te leiden.

## LES 4 INHOUD

Tijdens de vierde les komt weer dezelfde structuur naar voren als tijdens de tweede les. De leerlingen gaan zonder uitleg op een inductieve manier onderzoeken. De ene helft van de leerlingen onderzoekt de stabiliteit van een boot, de andere helft de invloed van de vorm van de romp van een boot op de wrijving. Voor stabiliteit is er veel vooraf geproduceerd materiaal aanwezig om het onderzoek in goede banen te leiden, voor wrijving mogen de leerlingen alles helemaal zelf bedenken. Wederom is het belangrijk dat een onderzoeksmethode eerst door de docent wordt gecontroleerd, voordat het onderzoek wordt uitgevoerd. Tussendoor wordt een korte demonstratie uitgevoerd van een lange en een korte boot met vin, om duidelijk te maken dat onderzoeksresultaten soms onbewust worden beïnvloed door andere factoren, zoals in dit geval stabiliteit. Aan

het eind van de les komt weer het ontwerpen van de uiteindelijke boot aan bod om te kijken hoe veel de leerlingen nu weten en kunnen toepassen.

#### Materiaal

- Stabiliteit: Een bak water waarin verschillende boten en vloten getest kunnen worden op stabiliteit. Twee verschillende formaten vloten met daarop gemonteerde gewichten zijn al beschikbaar voor de leerlingen. Hiermee kunnen ze testen hoe ver een extra gewicht liggend op het vlot naar de zijkant geschoven kan worden voordat het vlot omslaat. Indien de tijd het toelaat kunnen ook zelfgemaakte boten getest worden op stabiliteit. Op deze manier zoeken de leerlingen uit waarvan de stabiliteit van een boot afhankelijk is (gewicht onder/boven boot, breedte/lengte boot, totale lading, etc.).
- Wrijving door vorm: Dezelfde opstelling als bij wrijving door nat oppervlak. Ditmaal kunnen leerlingen blokken polystyreen van verschillende vormen, voornamelijk qua voorkant en achterkant, door de plantenbak slepen om te onderzoeken wanneer een boot het minste wrijving ondervindt. Zo onderzoeken ze waar de wrijving met betrekking tot vorm van afhankelijk is (vorm voorkant, vorm achterkant, vorm zijkanten, vorm onderkant, ruwheid oppervlak, etc.).

#### LES 4 OBSERVATIES

- De les verliep weer chaotischer, waarschijnlijk door incomplete voorbereiding qua materiaal en opstellingen die nog niet helemaal klaar stonden.
- Leerlingen waren erg druk en begonnen direct met LO's.
- Goede uitkomsten bij LO's vorm.
- Veel moeite met meten stabiliteit, wat meer sturing gegeven met vooraf gemaakt materiaal om toch de leerlingen op weg te helpen; tip gegeven om een gewicht naar de rand te schuiven en te meten wanneer het vlot kantelt, of gewichten te stapelen op verschillende plekken en te onderzoeken waar het vlot dan sneller kantelt.
- Uiteindelijk een groep met zeer goede resultaten bij stabiliteit.
- Demonstratie met vin niet gelukt, doordat de uitlijning van de vin en van het touw om de boten door de bak te trekken niet goed klopte. Daarom slechts mondeling besproken zonder overtuigend visueel bewijs.

#### LES 4 VOORNEMENS

Vooraf het materiaal en de opstelling in orde hebben om zo chaos in de klas te voorkomen. Ook aan het begin van de les een rustmoment creëren zodat de leerlingen even tot rust komen alvorens ze aan de slag gaan. Wederom benadrukken dat voor een betrouwbaar resultaat bij LO's slechts een variabele veranderd moet worden. De demonstratie met een vin zelf verbeteren en testen zodat deze de volgende les wel uitgevoerd kan worden en het gewenste resultaat levert. Als laatste een korte uitleg van het onderzoek naar stabiliteit opnemen aan het begin van de volgende les zodat de leerlingen hier minder hulp mee nodig hebben.

#### LES 5 INHOUD

Net als in les 4 gaan de leerlingen weer stabiliteit en wrijving door vorm onderzoeken, iedere groep het andere onderwerp dan de vorige les. Dit begint na een korte uitleg over deze twee onderwerpen. Zo worden de onderwerpen op een deductieve manier behandeld. Alle leerpunten van de vorige lessen over rust en structuur worden in acht genomen. Naast de uitleg wordt ook nog even kort ingegaan op de uiteindelijke wedstrijd, zodat de leerlingen de voorwaarden weer goed in hun hoofd hebben en extra gemotiveerd aan de slag gaan. De methode om goed onderzoek uit te voeren wordt nog een keer benadrukt in combinatie met een demonstratie, aangezien leerlingen hier nog steeds moeite mee hebben. In plaats van de demonstratie van twee verschillende lengtes boten wordt nu gebruik gemaakt van identieke boten met verschillende vinnen. Hierbij wordt gedemonstreerd wat het effect is van geen vin (boot die dwarrelt en tegen de kanten aan botst) en van verschillende groottes vinnen in de lengterichting (nat oppervlak). Ook wordt het sleeptouw op verschillende plekken bevestigd om te laten zien welke kleine discrepanties al van grote invloed kunnen zijn op een onderzoeksresultaat. Als laatste maken de leerlingen weer een ontwerp van hun uiteindelijke boot, zodat wederom het verschil tussen inductief en deductief leren kan worden getest.

#### LES 5 OBSERVATIES

- De uitleg duurde redelijk lang, maar verliep wel erg goed; de leerlingen letten allemaal op.

- Erg warm weer; meerdere ramen open en leerlingen uit andere klassen probeerden contact te maken en zorgden zo voor afleiding.
- De leerlingen waren het onderzoeken zat en wilden hun uiteindelijke boot maken.
- Stabiliteit zeer duidelijk en goed uitgevoerd.
- LO 's naar wrijving door vorm gingen goed, maar veel instabiele boten doordat de massa veel te hoog werd geplaatst.
- Demonstratie lukte ditmaal wel zoals beoogd; boot zonder vin dwarrelde tegen de kanten en de boten met vinnen gingen veel beter door de bak heen. De verschillende formaten van de vin hadden echter te weinig invloed en leerlingen zijn nog steeds niet volledig overtuigd van de invloed van nat oppervlak
- Groep met trimaran raakte de kant van de bak vaak en was daardoor langzaam.
- Alle onderwerpen komen nu goed samen en blijken belangrijk; alleen de Wet van Archimedes en de invloed van nat oppervlak worden niet vaak gebruikt door leerlingen.

#### LES 5 VOORNEMENS

Volgende keer extra tijd inplannen voor nog meer onderzoek naar nat oppervlak, voornamelijk door de romp van een boot ruw te maken. Leerlingen aan hun uiteindelijke ontwerp laten werken, maar wel dwingen om eerst op papier de boot uit te denken aan de hand van de onderzoeksresultaten en daarna pas te bouwen, zodat ze alle geleerde stof terug laten komen.

#### LES 6 INHOUD

Deze les staat in het teken van het ontwerp maken voor de uiteindelijke boot. De ene helft van de leerlingen begint inductief met een kort onderzoek over de invloed van oppervlakteruwheid op de wrijving die de boot ondervindt, terwijl de andere helft aan hun ontwerp werkt. Halverwege volgt er een korte uitleg over wrijving, waarna de rollen omgedraaid worden en het onderzoek dus deductief wordt uitgevoerd. Verder mogen de leerlingen zodra hun ontwerp af en goedgekeurd is, beginnen met het bouwen van hun wedstrijdboot. Tijdens het ontwerpen krijgen de leerlingen de werkbladen van al hun uitgevoerde LO's en alle tussenontwerpen uitgedeeld, om de geleerde stof zo goed mogelijk terug te laten komen in het eindontwerp. Als de LO's inductief moeizaam verlopen is het tijdens de uitleg ook nog mogelijk om een korte demonstratie van een vlot met gladde onderkant en een vlot met geribbelde onderkant uit te voeren om leerlingen een beter idee te geven wat er van ze verwacht wordt.

#### LES 6 OBSERVATIES

- Leerlingen waren nog lastiger te motiveren dan voorgaande keren. Ze wilden eigenlijk alleen nog maar bouwen, maar moesten serieus ontwerpen.
- Leerlingen gingen iets serieuzer werken nadat benadrukt was dat de onderbouwing van het ontwerp zwaar meetelt bij de beoordeling.
- Alle groepen hebben wel hun oude LO 's bekeken en gebruikt bij het maken van het eindontwerp.
- De onderbouwing van het eindontwerp was zeer matig. Leerlingen gebruikten termen als "stabiel" in plaats van de reden waarom hun boot stabiel zou zijn, of "snel" in plaats van de eigenschappen van de boot die hem snel maken.
- Onderzoek over oppervlakteruwheid kreeg geen goede resultaten.
- Demonstratie over oppervlakteruwheid lukte niet goed; te grote meetonzekerheid. De helft van de metingen was de ruwe boot langzamer en de andere helft juist sneller dan de gladde boot. De leerlingen waren verdeeld over wat ze hier van moesten denken, maar besloten uiteindelijk dat een gladde boot beter zou zijn.

#### LES 6 VOORNEMENS

De leerlingen duidelijk maken wat van ze verwacht wordt bij het onderbouwen van het ontwerp, zodat ze specifiekere uitleggen hoe ze hun onderzoeksresultaten gebruiken in hun ontwerp. Prijs voor beste boot meenemen ter motivatie. Oppervlakteruwheid niet meenemen in het onderzoek wegens tegenvallende resultaten. Zorgen dat iedereen aan het einde van de volgende les een eindproduct heeft dat goed is getest.

#### LES 7 INHOUD

De laatste les voor de wedstrijd is volledig ingepland voor het eindontwerp verfijnen aan de hand van testresultaten en de definitieve boot bouwen en testen. Hierbij krijgen de leerlingen nog een keer te horen dat ze niet alleen worden beoordeeld op de snelheid van de boot, maar ook op het ontwerp en de manier waarop

hun onderzoeksresultaten hierin naar voren komen. Bovendien moeten ze de laatste les een korte presentatie geven over hun boot die ze deze les moeten voorbereiden. Er is verder ruimte om de boot te versieren, mits aan het einde van de les alles volledig af is.

#### LES 7 OBSERVATIES

- Leerlingen voegden nog een aantal opmerkingen aan hun ontwerp toe zodra duidelijk was dat dit zwaar in de beoordeling zou meetellen.
- Alle leerlingen goed bezig met boot afronden en versieren.
- Sommige groepen wilden hun boot niet testen; iedereen moest minstens een keer hun boot testen voordat ze weg mochten, zodat tijdens de wedstrijd niets fout zou gaan.
- Een groep heeft de boot na elke kleine aanpassing weer getest om te kijken of hij sneller ging en is zo echt heel goed met de ontwerpcyclus bezig geweest.
- Aantal meisjes serieuzer bezig geweest met versieren dan met bouwen; wel mooie boot geworden en werkte goed tijdens de test.
- Iedereen eindresultaat ingeleverd inclusief ontwerp met onderbouwning; wel twee groepen min of meer afgeraffeld.
- Niemand heeft de presentatie voorbereid of geoefend.

#### LES 7 VOORNEMENS

Leerlingen extra motiveren om de laatste les de post-test serieus te maken. Verder duidelijk de beoordelingscriteria communiceren en de lessenserie afronden. Camera en beoordelingsformulieren meenemen om alles goed te documenteren.

#### LES 8 INHOUD

De leerlingen beginnen deze laatste les met het maken van de post-test. Waarschijnlijk zullen ze hier weinig zin in hebben, maar het moet toch zo goed mogelijk gebeuren. Vervolgens houdt elke groep een presentatie van ongeveer twee minuten, waarna ze direct twee kansen krijgen om de snelheid van hun boot te demonstreren; de snelste telt. Op grond van deze twee onderdelen, evenals het gebruik van de onderzoeksresultaten in het ontwerp, wordt beoordeeld welke groep als winnaar met de opblaasboot naar huis gaat.

#### LES 8 OBSERVATIES

- Leerlingen waren erg enthousiast en deden goed mee met de afronding.
- Iedereen was erg fanatiek; de prijs was erg gewild.
- Twee leerlingen ontbraken en hebben de post-test dus niet gemaakt.
- Erg mooie eindproducten, sommigen goed versierd en mooi geschuurd.
- Zeer snelle boten, slechts een boot stelde teleur in de race.
- Presentaties waren erg vergelijkbaar, omdat er maar vier LO 's in terug hoefden te komen; de meeste groepen liepen het rijtje af.
- Uiteindelijke winnaar was de groep die het meest serieus alle LO's had uitgevoerd en ook de uiteindelijke boot meermalen had getest en mooi had versierd.

#### LES 8 VOORNEMENS

Alle leerlingmateriaal innemen en bestuderen. De twee afwezige leerlingen niet meenemen in de evaluatie van de pre- en post-test.



## 10. BIJLAGE: CONCEPTENTESTEN

Er zijn twee conceptentesten gemaakt, een pre-test en een post-test. Deze zijn als PDF bijgevoegd in de bijlage (anders via [vanleeuwen.arjan@gmail.com](mailto:vanleeuwen.arjan@gmail.com)).

## 11. BIJLAGE: CONCEPTENTEST BEOORDELING

Het antwoordmodel voor de pre-test staat weergegeven in Tabel 14 en het antwoordmodel voor de post-test in Tabel 15. In beide antwoordmodellen is onderscheid gemaakt tussen een antwoord dat goed wordt gerekend en een extra toevoeging waaruit blijkt dat de leerling zich bewust is van het gebruik van het bijbehorende natuurkundige concept in het antwoord. Bij de antwoorden voor de pre-test is rekening gehouden met beperkte voorkennis, waardoor de terminologie minder streng is beoordeeld.

TABEL 14. ANTWOORDMODEL PRE-TEST.

<i>vraagnummer en cognitief domein</i>	<i>goed antwoord</i>	<i>toevoeging voor bewuste kennis van concept</i>
1 begrijpen	De boot is lichter dan het water. Het water duwt de boot omhoog.	Noemen van de invloed van volume of waterverplaatsing.
2 kennen	100 kubieke meter.	Noemen dat de waterverplaatsing ook twee keer zo groot wordt.
3 kennen	B	/
4 begrijpen / toepassen	De ketchup zit onderin de fles.	Noemen van laag zwaartepunt.
5 kennen / toepassen	A	/
6 kennen	Een gestroomlijnde vorm. Een afgeronde de voorkant (of punt). Een afgeronde achterkant.	Noemen dat het wegduwen van water makkelijker gaat.
7 toepassen	De voorkant afronden (of punt).  De oneffenheden aan de onderkant weghalen.	Noemen dat het wegduwen van water makkelijker gaat. Noemen van ruw oppervlak dat afremt.
8 kennen	De kleine boot, want die is kleiner. Lichter wordt <b>niet</b> goed gerekend.	Noemen van een klein nat oppervlak.
9 begrijpen	Op de snelweg, want daar rijdt hij sneller. Provinciale weg wegens veel stoppen wordt <b>niet</b> goed gerekend.	Noemen van snelheid als invloed, door het wegduwen van meer lucht.

TABEL 15. ANTWOORDMODEL POST-TEST.

<i>vraagnummer en cognitief domein</i>	<i>goed antwoord</i>	<i>toevoeging voor bewuste kennis van concept</i>
1 begrijpen	Drijvers groter maken.	Noemen dat meer volume onder water nodig is, want meer waterverplaatsing.
2 kennen	1,50 meter diep.	Twee keer zoveel volume onder water. <b>Minder</b> dan 1,50 meter, want de boot loopt schuin op.
3 kennen	D	/
4 begrijpen / toepassen	De boot of kraan kan gaan kantelen.	Noemen dat het zwaartepunt zo veel mogelijk naar het midden moet.
5 kennen / toepassen	Onderin in het midden.	/
6 kennen	Een gestroomlijnde vorm. Een afgeronde de voorkant (of punt). Een afgeronde achterkant.	Noemen dat het wegduwen van water makkelijker gaat of dat er minder golven ontstaan.
7 toepassen	B, want die heeft een afgeronde voorkant.	Noemen dat deze boot het water beter kan wegduwen.
8 kennen	D	/
9 begrijpen	Een straaljager gaat veel sneller.	Noemen van snelheid als invloed op de wrijving, met zijn snelheid moet hij veel meer lucht wegduwen.

## 12. BIJLAGE: CONCEPTENTEST UITSLAG

TABEL 16. RESULTATEN PRE-TEST EN POST-TEST. PERCENTAGE GOEDE ANTWOORDEN EN COGNITIEF NIVEAU NAAR BLOOMS TAXONOMIE.

Onderwerp	Archimedes			Stabiliteit		Wrijving door vorm		Wrijving door nat oppervlak	Wrijving door snelheid	Gemiddeld 1 t/m 8
	1 Begrijpen	2 Kennen	3 Kennen	4 Begrijpen / toepassen	5 Kennen / toepassen	6 Kennen	7 Toepassen	8 Kennen	9 Begrijpen	
Inductief pre-test goed	20%	30%	90%	25%	67%	8%	40%	10%		35% ± 20%
Inductief post-test goed	50%	90%	90%	42%	92%	50%	60%	60%		65% ± 21%
Bijzonderheden inductief	Regelmatig volume in antwoord post-test	Enkele leerling met perfect antwoord in post-test (toepassen)		Vaak goede uitleg met zwaartepunt in post-test		Alleen vorm genoemd in post-test				
Deductief pre-test goed	0%	67%	92%	30%	60%	0%	83%	8%		41% ± 22%
Deductief post-test goed	42%	100%	83%	70%	70%	30%	75%	92%		68% ± 31%
Bijzonderheden deductief	Soms verwarring met stabiliteit in post-test	Zelfde antwoord bij alle leerlingen		Regelmatig "kantelen" in uitleg post-test		Alleen vorm genoemd in post-test	Zelfde redenering in beide testen	Enkele leerling met perfect antwoord in pre-test	Betere redenering bij goede antwoorden in post-test	
Totaal pre-test goed	9%	50%	91%	27%	64%	5%	64%	9%	23%	38% ± 21%
Totaal post-test goed	45%	95%	86%	55%	82%	41%	68%	77%	18%	67% ± 26%
Bijzonderheden totaal	Vervelende vraagstelling bij pre-test					Goede antwoorden veel betere formulering	Geen ruw oppervlak onderzocht	Vervelende vraagstelling bij pre-test	Geen onderscheid inductief / deductief	

12. BIJLAGE: CONCEPTENTEST UITSLAG

### 13. BIJLAGE: ONTWERPONDERBOUWING BEOORDELING

De ontwerpen inclusief onderbouwing zijn beoordeeld aan de hand van Tabel 17. In deze tabel staan de termen weergegeven die per concept voldoende zijn om als benoeming te gelden. Voor het behandelen van de stof zijn de termen direct goed gerekend, na afloop van het behandelen van de stof moest het noemen of uitleggen van een term ook conceptueel juist zijn.

**TABEL 17. CRITERIA WAARMEE DE ONTWERPONDERBOUWING IS BEOORDEELD.**

<i>onderwerp</i>	<i>criterium</i>
oppervlaktewrijving	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebruik van de termen "frontaal oppervlak" of "nat oppervlak".</li> <li>- Gebruik van de termen "lang", "kort" of "wrijving" indien link met onderzoek.</li> </ul>
drijfvermogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebruik van de termen "drijfvermogen", "drijven" of "groot volume".</li> <li>- Gebruik van de termen "druk op water", "zwaarte/kracht", "hol", "oppervlakte" of "dikte" indien link met onderzoek.</li> </ul>
stabiliteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebruik van de termen "evenwicht", "gewicht laag", "gewicht midden", "kantelen" of "omslaan".</li> <li>- Tekening van ontwerp met gewicht duidelijk laag en in het midden geplaatst.</li> <li>- Uitleg over bewust naar achteren plaatsen van het zwaartepunt voor planeren. Dat is een indicatie van inzicht in het concept.</li> </ul>
wrijving door vorm	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gebruik van de termen "voorkant", "achterkant", "punt", "rond", "afgerond", "scherp", "door het water snijden", "schouders" of iets met afwezigheid van scherpe randen of hoeken.</li> </ul>

## 14. BIJLAGE: ONTWERPONDERBOUWING UITSLAG

Op de volgende pagina staan de beoordelingen van de concepten op alle ontwerpbladen in Tabel 18 en Tabel 19 weergegeven. Notatie van de Likertschaal als in Tabel 7.

**TABEL 18. BEOORDELINGEN ONTWERPBLADEN GROEP A. LIKERTSCHAAL NOTATIE ALS IN TABEL 7. TUSSEN DE TWEEDE EN DERDE EN TUSSEN DE VIERDE EN VIJFDE LES IS UITGELEGD. GRIJS GEARCEERD ZIJN DE MOMENTEN DAT DE GROEPEN MET HET LEERLINGENONDERZOEK AAN HET CONCEPT HEBBEN GEWERKT. EEN J GEEFT AAN DAT ER ZONDER EEN LIKERTSCHAAL AANDACHT IS BESTEED AAN HET CONCEPT.**

	Groep 1						Groep 2						Groep 3						Groep 4						Aantal keer genoemd						Gem. waardering				
	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les
Ind. wrijving		H						F				J	H	J	G	F	H	J							1	3	1	1	1	2	H	G	G	F	H
Ded. drijven	H	H		H			F			G	D	J	F		G	F					E				3	1	2	3	1	1	F	H	F	G	D
Ind. stabiliteit				G	H	J		H		F	A	J										H	J		0	1	0	2	3	3		H		F	D
Ded. vorm				H	F	J	F			F		J					F	J			H	C	G	J	1	0	1	3	3	4	F		H	E	F

**TABEL 19. BEOORDELINGEN ONTWERPBLADEN GROEP B. NOTATIE ALS IN TABEL 18.**

	Groep 6						Groep 7						Groep 8						Groep 9						Aantal keer genoemd						Gem. waardering				
	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les	achteraf	vooraf	2 <sup>e</sup> les	3 <sup>e</sup> les	4 <sup>e</sup> les	5 <sup>e</sup> les
Ind. drijven	H			H				H			H		H	F	H			J		H				J	2	3	1	1	1	2	H	G	H	H	H
Ded. wrijving						J			F						H	H					G			J	0	0	3	1	0	2			G	H	
Ind. vorm	H			H	H	J		F		H	H	J			H	H	H	J	F		H	G		J	2	1	2	4	3	4	G	F	H	H	H
Ded. stabiliteit				H	H	J					J	J	D	B		G	G	J		H				J	1	2	0	2	3	4	D	E		H	H

## 15. BIJLAGE: WERKBLADEN

Als werkbladen zijn de volgende documenten gebruikt:

- Onderzoekswerkbladen (als PDF bijgevoegd in bijlage, anders via [vanleeuwen.arjan@gmail.com](mailto:vanleeuwen.arjan@gmail.com)).
- Ontwerpblad op de volgende pagina.

De inductieve en deductieve hoofdgroepen hebben gelijke werkbladen gebruikt, waarbij voor de onderzoekswerkbladen de volgorde anders was zoals aangegeven in Figuur 1.

Tussenontwerp	Logo
---------------	------

Groepsnaam	
Datum:	

Ontwerp
---------

Leerlingen:

Onderbouwing:

1		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
2		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
3		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
4		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
5		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
6		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk
7		<input type="radio"/> onbelangrijk <input type="radio"/> neutraal <input type="radio"/> beetje belangrijk <input type="radio"/> belangrijk <input type="radio"/> heel belangrijk



## 16. BIJLAGE: COLLEGESHEETS

Sheets als PDF bijgevoegd in de bijlage (anders via [vanleeuwen.arjan@gmail.com](mailto:vanleeuwen.arjan@gmail.com)).