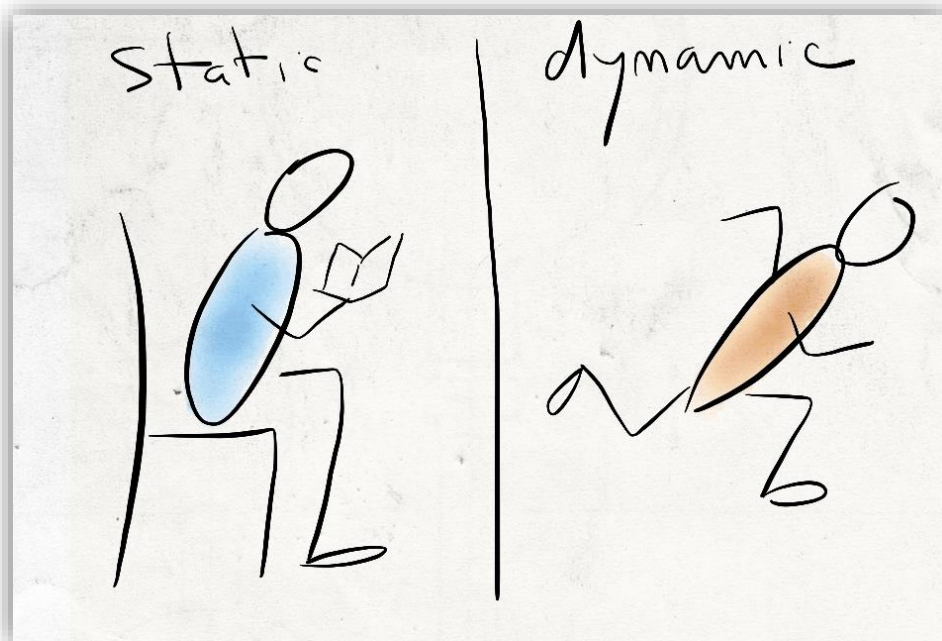


Dynamisch tegenover statisch lesmateriaal



Wolter van der Velde
s0150290
Onderzoek van onderwijs Natuurkunde
Begeleider: Dr. J. van der Meij

Samenvatting

Ontwikkeling van digitaal lesmateriaal is een onderwerp dat de laatste jaren steeds meer aandacht krijgt. Dit onderzoek richt zich op het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal in natuurkunde onderwijs. Het onderzoek is uitgevoerd op het Vechtdal College te Ommen onder een groep van negen leerlingen met daarnaast een controlegroep van elf leerlingen. Er is dynamisch en statisch lesmateriaal ontwikkeld en dit is uitgereikt aan respectievelijk de onderzoeksgroep en de controlegroep. Vervolgens zijn de groei in leerprestaties en de houding van beide groepen getoetst. Uit deze toets bleek een significant verschil in leerprestaties ten gunste van de onderzoeksgroep.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding en theoretisch kader	4
1.1 Inleiding	4
1.2 Cognitive Load Theory	4
1.3 Eigenschappen van statische visualisaties	4
1.4 Eigenschappen van dynamische visualisaties	5
1.5 Educatieve voordelen van statische en dynamische visualisaties	5
1.6 Classificatie van de toetsinstrumenten	6
1.7 Houding	7
1.8 Hypothese en onderzoeksvragen	8
2. Materiaal en Methode	9
2.1 Deelnemers	9
2.2 Materiaal	9
2.3 Uitvoering	13
2.4 Toetsinstrumenten	13
2.5 Toetsing van de houding	16
2.6 Verwerking van de resultaten	18
3. Resultaten	19
3.1 Voortoets	19
3.2 Vergelijking onderzoeksgroep en controlegroep	20
3.3 CLASS vragenlijst resultaten	22
4. Conclusie en discussie	23
5. Literatuur	25
Bijlagen	27
Bijlage A. Materiaal	27
Bijlage B. Voortoets	34
Bijlage C. Eindtoets	35
Bijlage D. CLASS vragenlijst	36

1. Inleiding en theoretisch kader

1.1 Inleiding

Ontwikkeling van digitaal lesmateriaal is een onderwerp dat de laatste jaren steeds meer aandacht krijgt. Vooral met het introduceren van tabletcomputers als vervanging van het traditionele lesmateriaal wordt de vraag naar digitaal materiaal veel groter. Tablets zijn veel compacter, handzamer en de interface is veel intuïtiever in vergelijking met computers, waar digitaal materiaal al langer op aangeboden wordt (Fischer, Smolnik, & Galletta, 2013). Uitgevers leveren op dit moment nog vooral gedigitaliseerde versies van de papieren boeken maar tabletcomputers hebben veel meer mogelijkheden om informatie te presenteren. Met de komst van de tablet is er steeds meer ruimte voor dynamische representaties zoals animaties en video's in plaats van statisch lesmateriaal. Dit onderzoek richt zich op het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal in natuurkunde onderwijs. Het dynamische materiaal dat in dit onderzoek gebruikt wordt, bestaat uit computergegenereerde animaties waarin onderwerpen uit de krachtenleer worden uitgelegd. Dit materiaal is getest op een onderzoeksgroep waarna de resultaten zijn vergeleken met de resultaten van een controlegroep die dezelfde stof behandeld heeft met statische representaties. Op de school waar ik het onderzoek heb uitgevoerd wordt gewerkt met iPads, om deze reden wordt in de rest van dit verslag gesproken over iPads in plaats van tabletcomputers.

1.2 Cognitive Load Theory

Om een hypothese te kunnen stellen of dynamische representaties een beter leereffect hebben dan statische representaties is er een model nodig om ze te kunnen vergelijken. Deze vergelijking kan gebruikt worden bij het ontwerpen van het dynamische materiaal.

Er is gekozen voor de Cognitive Load Theory (CLT) (Sweller, van Merrienboer, & Paas, 1998) omdat hiermee uitspraken kunnen worden gedaan over de manier waarop leerlingen informatie verwerken. De CLT gaat uit van drie manieren waarop de menselijke cognitie belast wordt tijdens het verwerken van informatie. Als de totale belasting te hoog is wordt de informatie niet of onjuist opgeslagen.

Het eerste type cognitieve belasting is '*Intrinsic cognitive load*'. Dit is de cognitieve belasting die inherent is aan de moeilijkheid van de informatie en kan dus niet beïnvloed worden door de docent zonder de inhoud van de informatie te wijzigen. Toch is deze belasting niet voor elke leerling hetzelfde omdat deze door bijvoorbeeld voorkennis verlaagd kan worden.

Het tweede type is de '*Extraneous cognitive load*'. Dit is de cognitieve belasting die samenhangt met de manier waarop de informatie gepresenteerd wordt. Bijvoorbeeld verbaal, statisch visueel of dynamisch visueel. Deze belasting moet zo laag mogelijk gehouden worden omdat het niet samenhangt met de leertaak, dit betekent dat de informatie zo duidelijk mogelijk gepresenteerd moet worden. De mate van de '*Extraneous cognitive load*' kan kritisch zijn voor succesvol leren (Carlson, Chandler, & Sweller, 2003).

Het laatste type cognitieve belasting is de '*Germane cognitive load*'. Dit is de cognitieve belasting die wordt gevraagd tijdens het verwerken en het construeren van mentale modellen om de informatie op te slaan. Dit type belasting moet gestimuleerd worden tijdens het leerproces omdat dit bijdraagt aan het internaliseren van kennis en het vormen van een mentaal model.

1.3 Eigenschappen van statische visualisaties

Het leereffect van afbeeldingen als ondersteuning voor een leertekst is vanuit uiteenlopende theoretische achtergronden onderzocht (Anglin, Vaez, & Cunningham, 1994; Levie & Lentz, 1982; Levin, Anglin, & Carney, 1987; Lewalter, 1997; Weidenmann, 2002). Uit al deze studies blijkt een sterk bewijs dat de combinatie van tekst met afbeeldingen een hoger leereffect heeft dan tekst alleen. Dit effect wordt verklaard vanuit Paivio's 'dual coding' theorie (Clark & Paivio, 1991; Paivio, 1986).

Het 'dual coding' principe is door Mayer verder uitgewerkt in zijn 'Cognitive Theory of Multimedia Learning' (Mayer, 2005). Hij stelt dat een leerling tijdens een leerproces twee cognitieve modellen vormt van de leerstof; een verbaal model en een visueel model. Het verbale model wordt gevormd door gelezen tekst of de uitleg van de docent. Het visuele model wordt gevormd door wat de leerling visueel waarneemt zoals afbeeldingen en andere multimedia. Vervolgens worden deze twee modellen gecombineerd samen met de kennis die de leerling al heeft over het desbetreffende onderwerp en wordt er een geïntegreerd cognitief model gevormd.

Vanuit de CLT bekeken wordt door het gecombineerd aanbieden van tekst en afbeeldingen de '*Extraneous cognitive load*' lager doordat de informatie op meerdere manieren gepresenteerd wordt. Daarnaast wordt de '*Germane cognitive load*' gestimuleerd doordat er een vollediger mentaal model wordt gevormd.

Een andere cognitieve theorie die het effect van de combinatie van tekst en afbeeldingen beschrijft is het geïntegreerde model van Schnotz (Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz, 2005). In dit model wordt meegenomen hoe de afbeeldingen en de tekst samenhangen. Afbeeldingen dragen niet altijd positief bij aan het construeren van een mentaal model. Als afbeeldingen niet in lijn zijn met de verbale informatie, wordt de '*Extraneous cognitive load*' voor de leerling hoger en wordt, volgens de CLT, het leereffect dus lager.

1.4 Eigenschappen van dynamische visualisaties

Zowel in de CTML als in het geïntegreerde model van Schnotz wordt geen onderscheid gemaakt tussen dynamische en statische visualisaties. Wel laten Mayer & Moreno (2002) zien dat de CTML geldig is voor animaties.

Animaties kunnen worden gedefinieerd als snel opeenvolgende afbeeldingen die een beweging suggereren (Rieber, 1991). Toch wordt een animatie anders verwerkt dan een afbeelding omdat de animatie verandert in de tijd.

Als een leerling moeite heeft met het voorstellen van een beweging zou een animatie kunnen helpen door een proces of een procedure dynamisch weer te geven (Salomon, 1979). De '*Extraneous cognitive load*' wordt in dit geval lager omdat de informatie op een manier gepresenteerd wordt die goed bij de inhoud van de informatie, de beweging, past. De animatie kan vanuit de CTML uitgelegd worden als een extern model voor een mentale representatie en hieruit kan beargumenteerd worden dat een animatie de '*Germane cognitive load*' stimuleert.

Een tegenargument voor dynamische representaties is dat de '*Extraneous cognitive load*' juist hoog is ten opzichte van statische representaties omdat een animatie verandert in de tijd en de leerling de informatie snel moet verwerken. Als de animatie voorbij een bepaalde punt is, dan is die informatie niet langer beschikbaar voor de leerling (Höffler & Leutner, 2007). In geval van iPad onderwijs heeft de leerling zelf de controle over de animatie en kan hij deze zelf pauzeren of opnieuw afspelen, hierdoor wordt de cognitieve belasting weer lager.

Daarnaast bestaat het risico dat door de dynamische visualisaties de leerling het getoonde proces of de procedure niet mentaal hoeft te simuleren. Het mentale model wordt dan gevormd door een oppervlakkige verwerking van de animatie, Bétrancourt (2005) noemt dit de '*illusion of understanding*'.

1.5 Educatieve voordelen van statische en dynamische visualisaties

Over het algemeen wordt er een meerwaarde verwacht van dynamische visualisaties ten opzichte van statische visualisaties (review door Levie & Lentz, 1982). In het artikel van Tversky, Morrison en Bétrancourt (2002) wordt een kritische blik geworpen op bestaand onderzoek waarin dynamisch met statisch materiaal vergeleken wordt. Zij stellen dat in veel onderzoeken een oneerlijke vergelijking wordt gemaakt waardoor animatie vaak onterecht als superieur wordt gezien. In de meeste van deze onderzoeken geven de animaties meer informatie dan de statische tegenhangers in de controlegroep. Bijvoorbeeld in het onderzoek van Baek en Layne (1988); waar een animatie van

bewegende gestreepte lijnen werden gebruikt om een beweging aan te geven, terwijl de controlegroep een tabel met afstanden, tijdstippen en gemiddelde snelheden kreeg. De animatie bevatte veel meer informatie en was dus niet vergelijkbaar met de statische representatie.

Verder kan er gesteld worden dat onjuist gebruik van animaties zelfs een negatief effect op het leerproces kan hebben. Zo neemt het kijken van animaties meer tijd en worden animaties over ingewikkelde processen vaak niet goed gepercipieerd door leerlingen die de stof niet beheersen (Lowe, 2004).

In het artikel van Tversky et al. (2002) worden twee principes gedefinieerd die als richtlijn kunnen dienen om geschikt dynamisch lesmateriaal te ontwikkelen.

Het eerste principe is het '*Congruence Principle*'. Hiermee wordt bedoeld dat de interne representatie overeen moet komen met de externe representatie. Oftewel: de manier waarop de informatie gepresenteerd wordt moet in overeenstemming zijn met de manier waarop informatie verwerkt wordt. Dit principe komt overeen met het verlagen van de '*Extraneous cognitive load*' en het stimuleren van de '*Germane cognitive load*'.

Het tweede principe is het '*Apprehension Principle*'. Hiermee wordt bedoeld dat ernaar gestreefd wordt dat de animatie op een goede manier waargenomen en verwerkt wordt door de leerlingen. Zo moet een animatie bijvoorbeeld niet te snel gaan en geniet een schematische representatie voorkeur boven een realistische representatie omdat een schematische voorstelling minder ruis bevat waar de leerlingen door afgeleid kunnen worden.

Uit de metastudie van Höffler en Leutner (2007) komt naar voren dat het gebruik van animaties een substantieel voordeel heeft ten opzichte van statische visualisaties mits de beweging in de animatie refereert naar het onderwerp van de leerstof. Decoratieve animaties dragen niet bij aan het leereffect. Ook zijn Höffler en Leutner (2007) het met Tversky et al. (2002) eens dat animatie niet *per se* beter is; het ontwerp van de animatie moet gebaseerd zijn op wetenschappelijke theorieën aangaande leren en instructie.

1.6 Classificatie van de toetsinstrumenten

In dit onderzoek wordt een antwoord gezocht op de vraag wat het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal is. Om een zinvolle uitspraak te kunnen doen over dit 'leereffect' wordt met behulp van de gereviseerde taxonomie van Bloom (Krathwohl, 2002) gekeken naar verschillende cognitieve processen (onthouden, begrijpen en toepassen) waarop het lesmateriaal invloed heeft.

Om de invloed zichtbaar te maken zijn er twee toetsen ontworpen om de prestaties van de controlegroep en de onderzoeksgroep aan het begin en aan het eind van het onderzoek te meten. De toetsvragen zijn geclassificeerd met behulp van de taxonomie van Bloom.

De originele taxonomie (Bloom et al., 1956) is een veelgebruikte methode om leergedrag te kwalificeren. In deze taxonomie wordt het cognitieve domein opgedeeld in zes niveaus die oplopen van simpel tot complex. Deze niveaus zijn: kennen, begrijpen, toepassen, analyseren, synthetiseren en evalueren. De niveaus dienen om een onderscheid te maken in de complexiteit van het kennisniveau waar een beroep op wordt gedaan.

In 2001 is de taxonomie gereviseerd (Krathwohl, 2002) en in deze gereviseerde taxonomie wordt het leergedrag van leerlingen geclassificeerd in een tweedimensionaal stelsel (Tabel 1). De eerste dimensie komt overeen met het cognitieve domein van de originele taxonomie, met enkele kleine wijzigingen in de terminologie. De nieuwe tweede dimensie is het kennisdomein. Hier wordt gekeken naar het soort kennis dat verworven wordt. Er wordt onderscheid gemaakt in: feitelijke, conceptuele, procedurele en metacognitieve kennis. Deze toevoeging geeft meer ruimte om leergedrag te classificeren.

Tabel 1: De gereviseerde taxonomie van Bloom.

		Cognitief Proces Domein					
		Onthouden	Begrijpen	Toepassen	Analyseren	Evaluëren	Ontwerpen
Kenniss Domein	Feitelijke kennis	A1	A2	A3	A4	A5	A6
	Conceptuele kennis	B1	B2	B3	B4	B5	B6
	Procedurele kennis	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Metacognitieve kennis	D1	D2	D3	D4	D5	D6

1.7 Houding

Naast de invloed op het leereffect wordt er ook gekeken naar de invloed op de houding van de leerlingen omdat een positieve houding een grotere motivatie geeft. Om de houding te toetsen is gebruik gemaakt van een gestandaardiseerde vragenlijst; de *'Colorado Learning Attitudes about Science Survey'* (CLASS) (Adams et al., 2006).

De CLASS vragenlijst bestaat uit 39 eens/oneens stellingen die beantwoord worden met een vijfpunts Likertschaal. De stellingen zijn gecategoriseerd in de onderstaande categorieën:

- Algemene houding
- Persoonlijke interesse
- Connectie met de praktijk
- Probleemoplossend denken
- Zelfvertrouwen in probleem oplossen
- Verfijning in probleem oplossen
- Conceptueel begrip
- Toegepast conceptueel begrip

Deze vragenlijst is aan het begin en het eind van de lessenserie afgenomen. De vragenlijst is bijgevoegd (Bijlage D) en in paragraaf 2.5 wordt uitleg gegeven over de scoring van deze vragenlijst.

1.8 Hypothese en onderzoeksvragen

Vanuit de theorie is er geen eenduidige verwachting waarin een meerwaarde duidelijk wordt van het gebruik van dynamische visualisaties. In het review artikel van Levie & Lentz (1982) wordt er een meerwaarde verwacht, maar in een review artikel van Tversky, Morrison en Betrancourt (2002) wordt de geldigheid hiervan in twijfel getrokken. In datzelfde artikel worden een aantal principes meegegeven voor het ontwikkelen van dynamisch lesmateriaal. Bij het ontwikkelen van lesmateriaal in het kader van dit onderzoek is rekening gehouden met deze principes.

De hypothese voor dit onderzoek is daarom dat de prestatie van de onderzoeksgroep met het dynamische lesmateriaal beter zal zijn dan de controlegroep met het statische lesmateriaal.

De onderzoeksvraag is als volgt gesteld:

- *Wat is het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal op de iPad?*

Deze vraag is opgedeeld in de volgende deelvragen gebaseerd op de gereviseerde taxonomie van Bloom:

- *Wat is het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal op het gebied van Onthouden?*
- *Wat is het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal op het gebied van Begrijpen?*
- *Wat is het leereffect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal op het gebied van Toepassen?*

Daarnaast is de volgende deelvraag betreft de houding geformuleerd:

- *Wat is het effect van dynamisch tegenover statisch lesmateriaal op de houding van de leerlingen?*

Bij de eerste drie deelvragen is de verwachting positief betreffende het dynamische materiaal. De hypothese is dat dynamische representaties een betere basis voor een mentaal model geven en daardoor zal de leerling waarschijnlijk de lesstof beter onthouden, begrijpen en toepassen.

Vanuit de theorie is het moeilijk om een uitspraak te doen bij welke categorie het dynamische lesmateriaal het grootste effect heeft. De taxonomie gaat uit van in complexiteit oplopende domeinen, de verwachting is dat het belang van een goed mentaal model toeneemt met de complexiteit van het domein. Bijvoorbeeld op het gebied van toepassen. In twee van de drie video's worden procedures uitgelegd. Bij het uitvoeren van deze procedures wordt de gepresenteerde kennis toegepast. Wanneer het mentaal model beter is gevormd, is de verwachting dat dit een positief effect zal hebben op het gebied van toepassen.

De verwachting voor de laatste deelvraag is dat de houding van de leerlingen positief verandert ten gevolge van het dynamische lesmateriaal. Als de animaties goed zijn uitgevoerd is de verwachting dat de lesstof aantrekkelijker wordt.

2. Materiaal en Methode

2.1 Deelnemers

De onderzoeksgroep bestaat uit één 3 havo klas van het Vechtdal College te Ommen. De klas bestaat uit 24 leerlingen. Er zijn 4 leerlingen afgevallen vanwege missende data. De gemiddelde leeftijd is 14 jaar.

De klas is opgesplitst in twee groepen; de onderzoeksgroep en de controlegroep. De leerlingen zijn willekeurig in één van de groepen geplaatst en de groepen zijn zoveel mogelijk gescheiden gehouden om onderlinge beïnvloeding te minimaliseren. De onderzoeksgroep bevat 9 leerlingen (6 jongens en 3 meisjes) en de controlegroep bevat 11 leerlingen (8 jongens en 3 meisjes).

2.2 Materiaal

Voor het lesmateriaal is uitgegaan van de methode Natuurkunde Overal (editie 2007) van Noordhoff Uitgevers. Voor dit onderzoek zijn twee paragrafen uit het hoofdstuk 'Kracht en evenwicht' gebruikt; de paragraaf 'Het tekenen van krachten' en de paragraaf 'De resultante en evenwicht'. De controlegroep kreeg een gedigitaliseerde versie van het boek op de iPad en de onderzoeksgroep kreeg datzelfde boek waarin drie afbeeldingen waren vervangen door animaties. Dit materiaal is te vinden in Bijlage A.

Het eerste dynamische element (D1)

De eerste animatie is gericht op het uitleggen van de constructie van een somkracht door middel van de 'kop-staartmethode'. Hierin wordt een kist bekeken waaraan in twee richtingen getrokken wordt.

De statische representatie

De originele afbeelding is weergegeven in Figuur 1. Deze bestaat uit drie subafbeeldingen die stapsgewijs laten zien hoe de somkracht van twee krachten te bepalen is. Onder de afbeelding worden de stappen uitgelegd.

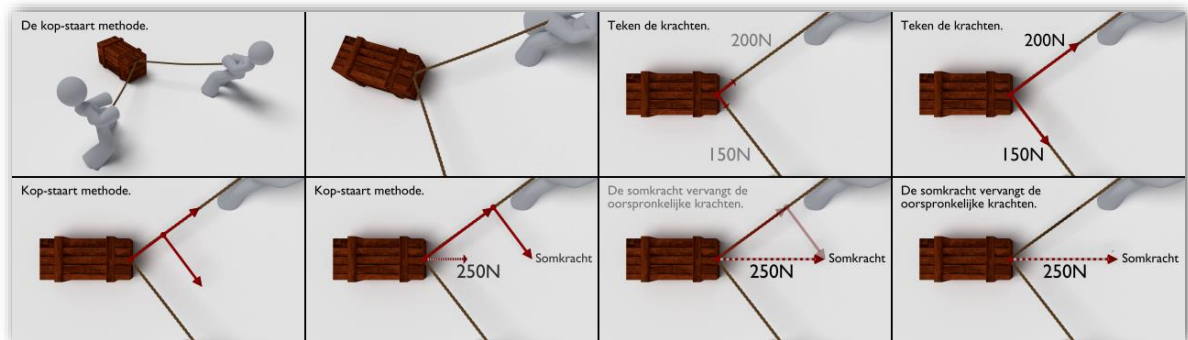


*Figuur 1: De statische variant van het eerste dynamische element (D1).
De constructie van een somvector door middel van de kop-staart methode.*

In de eerste afbeelding worden de krachten weergegeven, in de tweede afbeelding is één van de krachten verschoven naar de punt van de andere, om de kop-staartmethode te illustreren. In de laatste afbeelding is enkel de somkracht weergegeven om duidelijk te maken dat de somkracht de andere twee krachten vervangt. De drie afbeeldingen zijn frames uit de animatie. Dit is gedaan omdat de originele afbeelding minder details bevatte dan de animatie en daartussen dus geen eerlijke vergelijking kon worden gemaakt (Tversky et al., 2002).

De dynamische representatie

In de animatie worden precies dezelfde stappen gedaan als in de statische representatie, maar deze worden op een dynamische manier getoond. In Figuur 2 zijn acht frames uit de animatie weergegeven.



Figuur 2: Verschillende frames uit de animatie van het eerste dynamische element (D1).

De animatie begint met een overzicht van de situatie; twee personen die trekken aan een kist. Vervolgens wordt ingezoomd op de kist. Dan worden achtereenvolgens de krachten getekend, de onderste vector verschoven langs de andere, de somkracht wordt getekend en als laatste verdwijnen de oorspronkelijke krachten om aan te geven dat de somkracht deze vervangt. De stappen worden toegelicht met tekst links bovenin.

De animatie is schematisch maar heeft een bepaald niveau van realisme; met name de driedimensionale voorstelling van de situatie. De 'personen' die aan de touwen trekken bevatten geen detail. Hierdoor wordt de aandacht gefocust op de kist en de touwen ('*Apprehension principle*'). De kop-staartmethode heeft als kern dat één van de vectoren geplaatst wordt aan het eind van de andere vector. Deze handeling wordt weergegeven door de vector die langs de andere vector beweegt (zie Figuur 2.e). Op deze manier wordt geprobeerd om met de animatie de constructie van het mentale model bij de leerlingen te simuleren ('*Congruence Principle*') en te stimuleren (stimulatie van de '*Germane cognitive load*').

Het tweede dynamische element (D2)

De tweede animatie maakt de constructie van een somkracht door middel van de parallellogrammethode duidelijk en laat zien hoe je met de somkracht een reactiekracht kunt afleiden die voor evenwicht zorgt.

De statische representatie

De originele afbeelding (Figuur 3) bestaat uit vier subafbeeldingen waarin stapsgewijs de parallellogrammethode wordt uitgelegd. In de eerste stap wordt de situatie getoond; twee krachten van verschillende grootte onder een hoek van 90 graden met elkaar. In de tweede afbeelding wordt de parallellogram getekend. In de derde afbeelding wordt de somkracht van de twee oorspronkelijke krachten getekend en in de laatste afbeelding is een reactiekracht getekend die zorgt voor evenwicht.

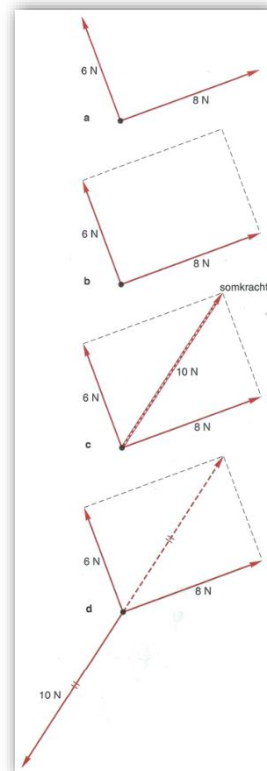
De afbeelding wordt uitgelegd in de hoofdttekst. Daarin wordt niet alleen verwezen naar de afbeelding als geheel maar ook naar de specifieke subafbeeldingen (a t/m d).

De dynamische representatie

Ook in deze animatie worden precies dezelfde stappen gedaan als in de statische representatie, maar deze worden op een dynamische manier getoond. In Figuur 4 zijn een aantal frames uit de animatie weergegeven.

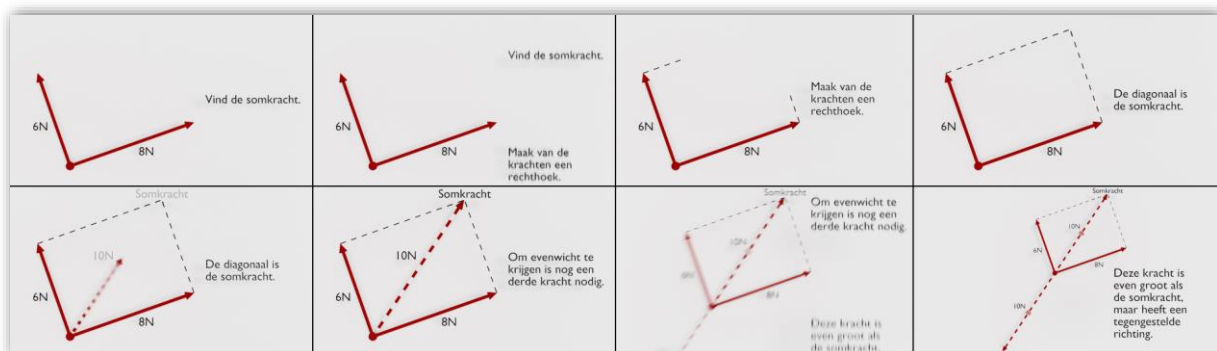
De animatie bevat geen realistische elementen, het is een schematische weergave van de parallellogrammethode net als de originele afbeelding. De bewegingen zijn dynamisch dus de leerlingen zien de vectoren 'groeien' en het parallellogram 'getekend' worden. Op deze manier wordt geprobeerd om met de animatie de constructie van het mentale model bij de leerlingen te simuleren ('*Congruence Principle*') en te stimuleren (stimulatie van de '*Germane cognitive load*').

In de animatie wordt per stap een regel uitleg getoond. Dit is een verschil met de originele statische representatie. De inhoud van de hoofdttekst is onveranderd, alleen de verwijzingen naar de specifieke subafbeeldingen zijn eruit gehaald. In plaats daarvan wordt er één keer verwezen naar de animatie. De reden hiervoor is dat er vanuit de hoofdttekst niet verwezen kan worden naar een bepaalde stap in de animatie. Door deze keuze geeft de animatie weliswaar meer informatie dan de originele afbeelding, maar hier staat tegenover dat het moeilijker is om vanuit de hoofdttekst te begrijpen wat er gebeurt.



Figuur 3: Statische variant van het tweede dynamische element (D2).

Constructie van de somvector door middel van de parallellogrammethode.



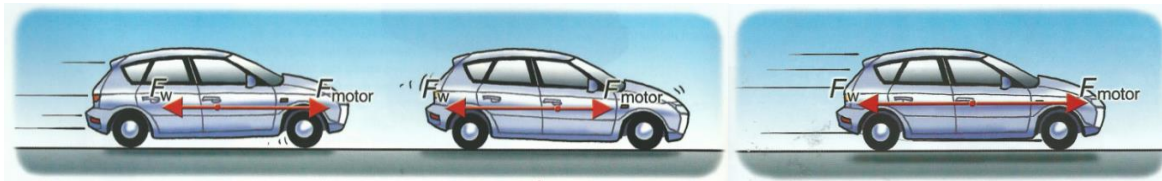
Figuur 4: Verschillende frames uit de animatie van het tweede dynamische element (D2).

Het derde dynamische element (D3)

De laatste animatie toont een auto die vanuit stilstand versnelt tot een constante snelheid en vervolgens weer afremt tot stilstand, tijdens elk van deze drie fases wordt de verhouding tussen de voortstuwende kracht en de wrijvingskracht weergegeven.

Statische representatie

De originele afbeelding (Figuur 5) bestaat uit drie subafbeeldingen. Elke afbeelding toont de auto in één van de drie fases met de vectoren van de wrijvingskracht (F_w) en de motorkracht (F_{motor}). In de tekst op de pagina van de afbeeldingen wordt toegelicht wat er gebeurt. En wordt er verwezen naar de specifieke subafbeeldingen.



Figuur 5: Statische variant van het derde dynamische element (D3).

a: Versnellen, b: Vertragen en c: Constante snelheid.

Dynamische representatie

De animatie laat een auto zien die vanuit stilstand optrekt een stukje met een constante snelheid rijdt en vervolgens vertraagt tot stilstand. Bij deze beweging worden de krachtvectoren op een dynamische manier getoond. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld naarmate de snelheid van de auto toeneemt de weerstandskracht groter wordt. De volgorde van de fases is verschillend van de volgorde in de statische representatie. Dit is gedaan omdat de fases in één beweging getoond worden.

Onderaan in het filmpje wordt aangegeven in welke fase de auto zich bevindt; versnellen, constante snelheid of vertragen. Op de achtergrond komt een landschap voorbij met bomen en huisjes. Deze worden niet getoond in de originele statische afbeelding, maar zijn toegevoegd om de leerlingen een referentiekader te geven voor de snelheid van de auto. De stijl van de video is cartoon, niet realistisch en de nadruk wordt duidelijk gelegd op de beweging van de auto en de krachten die daarbij een rol spelen ('Apprehension Principle'). Doordat de leerlingen de beweging 'zien' wordt de 'Germane cognitive load' weer gestimuleerd.



Figuur 6: Verschillende frames uit de animatie van het derde dynamische element (D3).

2.3 Uitvoering

Om de invloed van de docent te beperken is er nauwelijks klassikaal les gegeven. De leerlingen werken de stof in drie lesuren van 50 minuten zelfstandig door. De effectiviteit van het materiaal wordt op twee verschillende manieren getoetst. In de eerste plaats wordt er bij beide groepen een voor- en eindtoets afgenomen. Daarnaast wordt aan het begin en aan het eind een vragenlijst afgenomen om de houding ten opzichte van het vak natuurkunde te meten.

Les 1	• Tijdens deze les worden de voortoets en de CLASS vragenlijst afgenomen als nulmeting. • De groep wordt willekeurig verdeeld in de onderzoeksgroep en de controlegroep. • Aan beide groepen is het bijbehorende lesmateriaal uitgedeeld.
Les 2 – Les 4	• Zelfstandig bestuderen van lesmateriaal door de leerlingen onder toezicht van de docent.
Les 5	• Tijdens deze les worden de eindtoets en de CLASS vragenlijst afgenomen als eindmeting.

2.4 Toetsinstrumenten

De toetsen zijn ontworpen aan de hand van de gereviseerde taxonomie van Bloom (Krathwohl, 2002). In Tabel 2 en Tabel 4 wordt voor de voortoets en de eindtoets per vraag weergegeven tot welk domein van de taxonomie de vragen behoren. Daarnaast wordt aangegeven bij welk dynamisch element de vraag hoort. In Bijlage B en Bijlage C zijn de volledige toetsen terug te vinden.

Scoring

De resultaten worden uitgedrukt als een percentage van een foutloze toets. In

Tabel 3 en Tabel 5 zijn voor respectievelijk de voortoets en de eindtoets de nakijkmodellen met de punten weergegeven. De score per vraag is het quotiënt van de behaalde punten en het totaal aantal punten. De score wordt berekend door het gewogen gemiddelde te nemen van de score per vraag. De wegingsfactoren per vraag zijn te vinden in de laatste kolommen van

Tabel 3 en Tabel 5.

De volledige formule voor de berekening van de toetsscore:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{p_{max,i}} \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot 100\%$$

Waarbij:

- S is de toetsscore
- n het aantal vragen
- p_i de behaalde punten per vraag
- $p_{max,i}$ de maximaal behaalbare punten per vraag
- w_i de wegingsfactor per vraag

Bij de analyse van de prestaties op één bepaald cognitief domein worden alleen de vragen meegenomen die betrekking hebben op dat domein.

Voortoets

Tabel 2: Classificering van de voortoets

	Lesstof	Dynamisch element	Taxonomie
1 Kracht tekenen			
a Welke informatie moet je hebben over een kracht om hem te kunnen tekenen. Noem drie eigenschappen.	§1		A1
b Teken een kracht van 270 N die schuin naar rechts en naar boven werkt. De kracht maakt een hoek van 30° met de horizontale lijnen van het papier. Gebruik een krachtschaal van $1\text{cm} \cong 50\text{N}$	§1		C2,C3
2 Kop-staart en parallellogrammethode			
a Waarvoor worden de kop-staart- en de parallellogrammethode gebruikt?	§1, 2	D1, D2	B2, B3
b Wat zijn de verschillen tussen de kop-staart en de parallellogram methode?	§1, 2	D1, D2	B2, B3
3 Kist			
Op een vloer staat een kist. Erik duwt met een horizontale kracht F tegen de kist. Tijdens bewegen is de schuifwrijvingskracht $F_w = 100\text{ N}$. Wat gebeurt er met de snelheid van de kist in de volgende gevallen? $F = 50\text{ N}$, $F = 100\text{ N}$, $F = 200\text{ N}$	§2	D3	B1, B2

Tabel 3: Nakijkmodel en wegingsfactoren van de voortoets

	Punten (p)	Weging (w)
1 Kracht tekenen		
a <i>Grootte, richting en krachtschaal (evt. aangrijpingspunt)</i>	2	1
Indien drie antwoorden juist	2	
Indien twee antwoorden juist	1	
Indien één of geen antwoorden juist	0	
b • Juiste lengte	1	
• Juiste hoek	1	
• Netheid	1	
2 Kop-staart en parallellogrammethode		
a • Juiste uitleg	1	1
b • Juiste uitleg	1	1
3 Kist		
• Situatie 1: Niks	1	
• Situatie 2: Niks	1	
• Situatie 3: De snelheid neemt toe	1	

Eindtoets

Tabel 4: Classificering van de eindtoets

	Lesstof	Dynamisch element	Taxonomie
1 Theorie			
a Noem de drie eigenschappen van een kracht.	§1		A1
b Geef in de volgende situaties aan in welke richting de resulterende kracht werkt.	§2	D3	B2, C2
• Een auto die met een constante snelheid op de snelweg rijdt			
• Een parachute springer, vlak nadat hij uit het vliegtuig springt			
• Een bungee jumper op het moment dat het elastiek gespannen wordt			
• Een regendruppel die met constante snelheid naar beneden valt			
2 Krachten tekenen			
a Teken de resulterende of netto kracht F_{res} in figuur 1. Gebruik de kop-staartmethode In figuur 1 heeft kracht F_1 een grootte van 20 N.	§1	D1	C2, C3
b Wat is hier de krachtschaal?	§1		B2
c Bepaal de grootte van de nettokracht F_{res} .	§1	D1	B2, C2

3 Auto Een auto ondervindt tijdens het rijden krachten tegen de rijrichting in en krachten in de rijrichting. Wat kun je zeggen over de voorwaartse krachten, de achterwaartse krachten en de nettokracht als deze auto: Versnelt, met constante snelheid rijdt, afremt	§2	D3	A1, B1, A2, B2
4 Sleepboten Twee sleepboten proberen een schip los te trekken. Jammer genoeg lukt dat niet. De situatie is op schaal getekend in figuur 2. Kracht $F_1 = 4,0 \cdot 10^4 \text{ N}$. a Teken de somkracht van F_1 en F_2 . Gebruik de parallellogrammethode b Teken de kracht F_3 waarmee de zeebodem het schip vasthoudt. c Bepaal de grootte van de kracht F_3 .	§2 §1, 2 §1, 2	D2 D2 D2	C2, C3 C2, C3 B2, C2

Tabel 5: Nakijkmodel en wegingsfactoren van de eindtoets

		Punten (p)	Weging (w)
1 Theorie			
a • <i>Richting</i>	1	3	1
• <i>Grootte</i>	1		
• <i>Aangrijpingspunt</i>	1		
b • <i>Situatie 1: Geen resulterende kracht</i>	1	4	2
• <i>Situatie 2: Naar beneden</i>	1		
• <i>Situatie 3: Omhoog</i>	1		
• <i>Situatie 4: Geen resulterende kracht</i>	1		
2 Krachten tekenen			
a • <i>Juiste richting</i>	1	3	2
• <i>Juiste grootte</i>	1		
• <i>Gebruik kop-staartmethode</i>	1		
b • <i>Opmeten kracht F_1 en uitrekenen van krachtenschaal</i>	1	1	1
c • <i>Opmeten kracht F_{res} en uitrekenen van grootte</i>	1	1	1
3 Auto			
<i>Juiste beschrijving van de voorwaartse krachten, de achterwaartse krachten en de nettokracht.</i>		9	3
• <i>Situatie 1: Juiste antwoord</i>	3		
• <i>Situatie 2: Juiste antwoord</i>	3		
• <i>Situatie 3: Juiste antwoord</i>	3		
4 Sleepboten			
a • <i>Juiste richting</i>	1	3	2
• <i>Juiste grootte</i>	1		
• <i>Gebruik kop-staartmethode</i>	1		
b • <i>Juiste richting</i>	1	2	1,5
• <i>Juiste grootte</i>	1		
c • <i>Opmeten kracht F_{res} en uitrekenen van grootte</i>	1	1	1

2.5 Toetsing van de houding

Om de houding te toetsen is gebruik gemaakt van een gestandaardiseerde vragenlijst; de '*Colorado Learning Attitudes about Science Survey*' (CLASS) (Adams et al., 2006).

Deze vragenlijst meet de houding van leerlingen ten opzichte van natuurkunde en is gebaseerd op de *Maryland Physics Expectations survey* (MPEX) (Redish, 1998) en de *Views About Sciences Survey* (VASS), (Halloun & Hestenes, 1996).

De stellingen zijn voor dit onderzoek van het Engels vertaald naar het Nederlands (zie Bijlage D). Deze vertaling is niet gestandaardiseerd.

De CLASS vragenlijst bestaat uit 39 eens/oneens stellingen die beantwoord worden met een vijfpunts Likertschaal. De stellingen zijn gecategoriseerd in de onderstaande categorieën:

- Algemene houding
- Persoonlijke interesse
- Connectie met de praktijk
- Probleemoplossend denken
- Zelfvertrouwen in probleem oplossen
- Verfijning in probleem oplossen
- Conceptueel begrip
- Toegepast conceptueel begrip

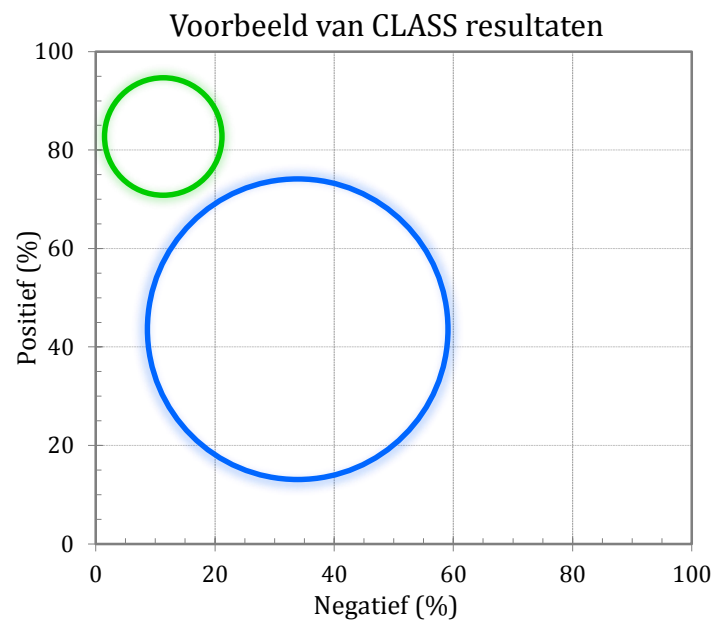
Scoring CLASS vragenlijst

Als een respondent het eens is met een positief gestelde stelling of oneens is met een negatief gestelde stelling, dan is dit een *positieve* respons. Andersom geldt vanzelfsprekend dat als een respondent het oneens is met een positieve gestelde stelling of het eens is met een negatief gestelde stelling, dit wordt gezien als een *negatieve* respons. Een respondent kan ook *neutraal* antwoorden.

Als een respondent het bijvoorbeeld oneens is met de stelling '*Ik leer natuurkunde om kennis te vergaren die nuttig is in mijn leven buiten school*', dan is dat een negatieve respons. Het percentage positieve antwoorden wordt per categorie uitgezet tegenover het percentage negatieve antwoorden.

Tijdens het ontwerpen van deze vragenlijst is deze voorgelegd aan natuurkundigen en docenten aan de universiteit van California (Adams et al., 2006). Deze groep wordt in het artikel aangeduid als experts. De score van deze groep geldt als referentiekader bij het interpreteren van de resultaten.

In Figuur 7 is een voorbeeld gegeven van de ligging van een typisch resultaat van 'experts' en leerlingen (Adams et al., 2006).



Figuur 7: De ligging van een typische respons van 'experts' (●) en leerlingen (●) op de CLASS vragenlijst.

In het hierboven weergegeven diagram is te zien dat de houding ten opzichte van natuurkunde het beste is als de resultaten links bovenin liggen.

2.6 Verwerking van de resultaten

Gezien de kleine ongelijke groepsgroottes zijn er maar een beperkt aantal statistische toetsen geschikt om de resultaten met elkaar te vergelijken. Er wordt aangenomen dat de resultaten normaal verdeeld zijn en dat de varianties van de twee groepen ongelijk zijn.

Omdat de groepsgroottes niet gelijk zijn en ook niet aangenomen kan worden dat de variantie gelijk is, wordt Welch's t-toets (Moser & Stevens, 1992) toegepast. Deze heeft een kleinere *power* dan de student t-toets, maar de toets is robuuster en geeft een minder grote kans op een fout van type I, waarbij een ware nulhypothese wordt verworpen (Kendall, 1945).

Omdat de resultaten van toetsen in dezelfde schaal (van 0% tot 100%) worden uitgedrukt, lijkt het in eerste instantie misschien logisch om de scores van de eindtoets en de voortoets per groep met behulp van een gepaarde t-toets met elkaar te vergelijken. Hier zou dan uit kunnen blijken of de progressie per groep significant is. Dit heeft echter geen betekenis omdat de voor- en de eindtoets inhoudelijk zeer verschillend zijn en de scores dus niet één op één te vergelijken zijn.

In plaats daarvan wordt de ongepaarde Welch's t-toets gebruikt om de onderlinge resultaten van de onderzoeksgroep en de controlegroep met elkaar te vergelijken. Allereerst worden, als nulmeting, de voortoetsscores met elkaar vergeleken om te kijken of er een significant verschil zit tussen het niveau van deze groepen.

Voor het vergelijken van de voortoetsscores is de nulhypothese dat de gemiddelde score van de onderzoeksgroep (*a*) is gelijk aan de gemiddelde score van de controlegroep (*b*).

$$H_0: \mu_a = \mu_b$$

Met als alternatieve hypothese:

$$H_A: \mu_a \neq \mu_b$$

Deze hypothese wordt getoetst met een ongepaarde tweezijdige Welch's t-toets.

Vervolgens wordt per groep de voortoetsscore van de eindtoetsscore afgetrokken, de verschillscore die hieruit volgt is de hoofdgrootheid die gebruikt wordt om de groepen te vergelijken. Aangezien de verwachting is dat de onderzoeksgroep beter gaat presteren dan de controlegroep wordt bij het vergelijken van de verschillscores een *eenzijdige* ongepaarde Welch's t-toets gebruikt. Hierin wordt de nulhypothese hetzelfde geformuleerd als hierboven, maar als alternatieve hypothese wordt gesteld dat de gemiddelde score van de onderzoeksgroep groter is dan de gemiddelde score van de controlegroep.

$$H_0: \mu_a = \mu_b$$

$$H_A: \mu_a > \mu_b$$

Indien de score van de controlegroep beter is dan de score van de onderzoeksgroep wordt de alternatieve hypothese omgedraaid en als volgt getoetst:

$$H_A: \mu_a < \mu_b$$

Verwerking van de CLASS resultaten

Omdat de vragenlijst vooraf en aan het eind van de onderzoeksperiode zijn hetzelfde zijn, kan de progressie per groep gemeten worden in plaats van relatief ten opzichte van de andere groep. Dit wordt gedaan met behulp van een gepaarde student t-toets. De nulhypothese is dat de gemiddelde score per groep aan het begin (tijdstip 1) gelijk is aan de score achteraf (tijdstip 2).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Met als alternatieve hypothese:

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

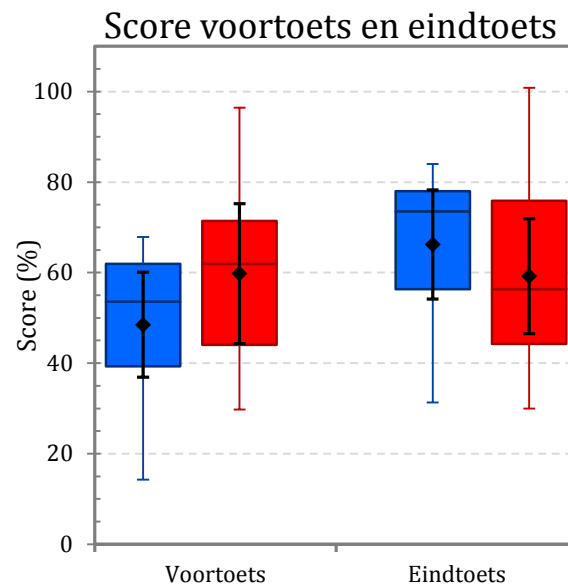
3. Resultaten

3.1 Voortoets

In Tabel 6 en Figuur 8 zijn de resultaten van de voortoets en de eindtoets weergegeven.

Tabel 6: De gemiddelde scores van de voortoets ($\bar{X}$), de eindtoets ($\bar{Y}$) en de bijbehorende steekproef standaarddeviaties. Weergegeven per groep en gespecificeerd per cognitief domein.

	Resultaat onderzoeksgroep in %				Resultaat controlegroep in %			
	$\bar{X}_a$	$s_{\bar{X}_a}$	$\bar{Y}_a$	$s_{\bar{Y}_a}$	$\bar{X}_b$	$s_{\bar{X}_b}$	$\bar{Y}_b$	$s_{\bar{Y}_b}$
Totaal	48,5	17,2	66,2	17,9	59,8	20,1	59,2	16,6
Onthouden	44,4	31,9	67,8	28,8	63,6	33,1	69,9	32,3
Begrijpen	44,4	18,9	66,4	18,8	55,9	21,6	57,6	17,4
Toepassen	51,5	22,5	65,8	30,8	56,9	19,5	49,2	27,5



Figuur 8: Voortoets- en eindtoetsscores van de onderzoeksgroep (■) en de controlegroep (■). De data is gepresenteerd in een boxplot met daaroverheen dikgedrukt het steekproefgemiddelde (◆) met het 95% betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde.

Opvallend is dat de controlegroep beter gepresteerd heeft op de voortoets dan de onderzoeksgroep, maar minder goed op de eindtoets. De groei van de onderzoeksgroep is dus groter, de controlegroep laat zelfs een minieme daling zien.

Om te kijken of de groepen vergelijkbaar zijn worden de voortoetsscores met elkaar vergeleken. Deze vergelijking is in Tabel 7 weergegeven.

Tabel 7: Het verschil in voortoetsscores ($\bar{X}_a - \bar{X}_b$), de onpartijdige schatter van de variantie ($s_{\bar{X}_a - \bar{X}_b}$) en de kans dat de nulhypothese waar is ($P(H_0)$).

	Voortoets		
	$\bar{X}_a - \bar{X}_b$	$s_{\bar{X}_a - \bar{X}_b}$	$P(H_0)$
Totaal	-11,3	8,5	0,20
Onthouden	-19,1	14,6	0,21
Begrijpen	-11,4	9,2	0,23
Toepassen	-5,4	9,4	0,57

De kans dat de gemiddelde voortoetsscores van de twee groepen aan elkaar gelijk zijn is: $P(H_0) = 0,20$. Er blijkt dat de groepen niet significant ($P \leq 5\%$) verschillen. Ook als er gekeken wordt naar de afzonderlijke cognitieve processen (onthouden, begrijpen en toepassen) blijkt nergens een significant verschil te zijn. De onderzoeksgroep heeft een lagere voortoetsscore maar op basis van de statistische analyse kan worden aangenomen dat de groepen gelijkwaardig zijn en dus met elkaar vergeleken kunnen worden.

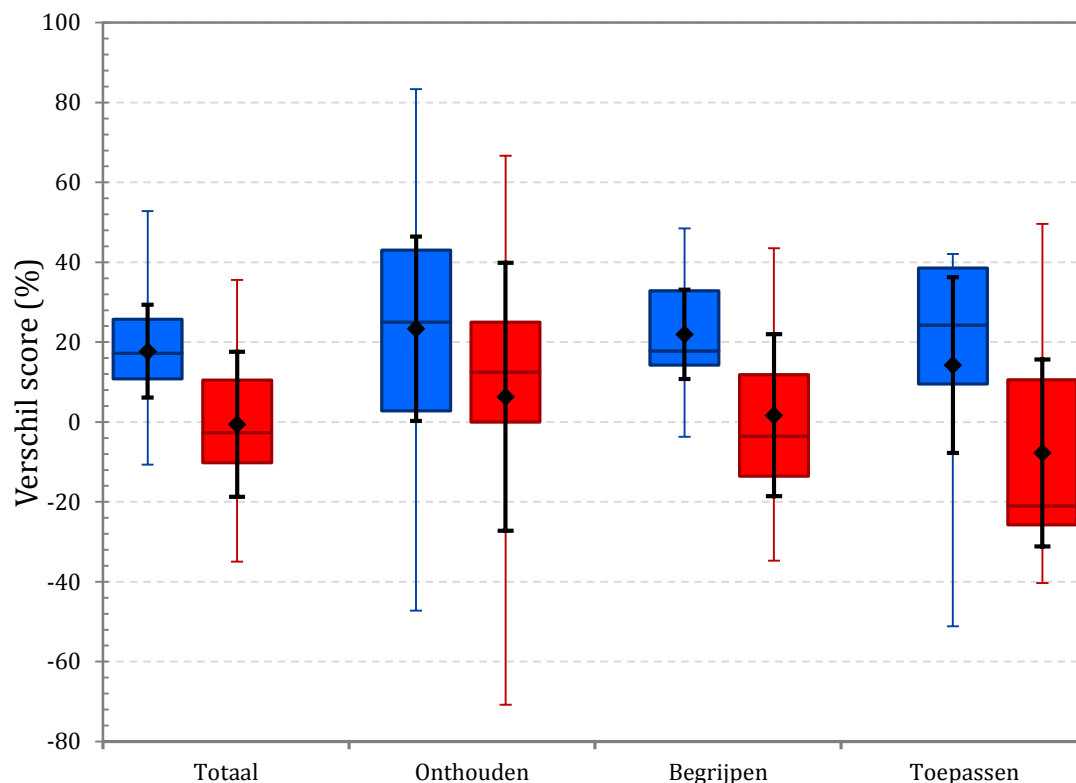
3.2 Vergelijking onderzoeksgroep en controlegroep

In Tabel 8 en Figuur 9 zijn de verschillen van de voortoets en de eindtoets weergegeven.

Tabel 8: De verschillen ($\bar{Z}$) van de gemiddelde voortoets- ($\bar{X}$) en eindtoetsscores ($\bar{Y}$) en de bijbehorende steekproef standaarddeviatie ($s_{\bar{Z}}$). Weergegeven per groep en gespecificeerd per cognitief domein.

	Resultaat onderzoeksgroep in %				Resultaat controlegroep in %			
	$\bar{X}_a$	$\bar{Y}_a$	$\bar{Z}_a = \bar{X}_a - \bar{Y}_a$	$s_{\bar{Z}_a}$	$\bar{X}_b$	$\bar{Y}_b$	$\bar{Z}_b = \bar{X}_b - \bar{Y}_b$	$s_{\bar{Z}_b}$
Totaal	48,5	66,2	17,7	17,4	59,8	59,2	-0,6	23,6
Onthouden	44,4	67,8	23,4	34,3	63,6	69,9	6,3	43,6
Begrijpen	44,4	66,4	22,0	16,7	55,9	57,6	1,7	26,4
Toepassen	51,5	65,8	14,3	32,8	56,9	49,2	-7,7	30,4

Verskil in score tussen de voortoets en eindtoets



Figuur 9: Verskil in voortoets- en eindtoetsscores, weergegeven voor de onderzoeksgroep (■) en de controlegroep (■) per cognitief proces. Een positief verschil betekent een verbetering van de score. De data is gepresenteerd in een boxplot met daaroverheen dikgedrukt het steekproefgemiddelde (◆) met het 95% betrouwbaarheidsinterval van het gemiddelde.

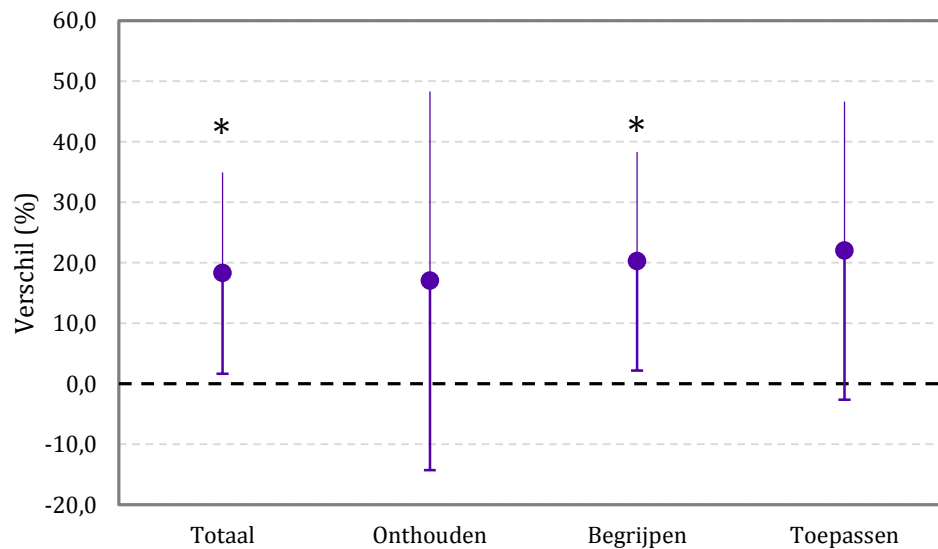
Hierin is duidelijk te zien dat de onderzoeksgroep, op alle gebieden, een grotere groei heeft doorgemaakt dan de controlegroep.

Om te beoordelen of het verschil significant is, zijn de verschillen van de twee groepen met elkaar vergeleken door ze van elkaar af te trekken. Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 9 en Figuur 10.

Tabel 9: Het verschil van de vershilscores ($\bar{Z}_a - \bar{Z}_b$), de onpartijdige schatter van de variantie ($s_{\bar{Z}_a - \bar{Z}_b}$) en de kans dat de nulhypothese waar is ($P(H_0)$).

	$\bar{Z}_a - \bar{Z}_b$	$s_{\bar{Z}_a - \bar{Z}_b}$	$P(H_0)$
Totaal	18,3	9,4	0,036*
Onthouden	17,0	17,9	0,178
Begrijpen	20,3	10,1	0,034*
Toepassen	22,0	14,2	0,069

Vergelijking van de vershilschore



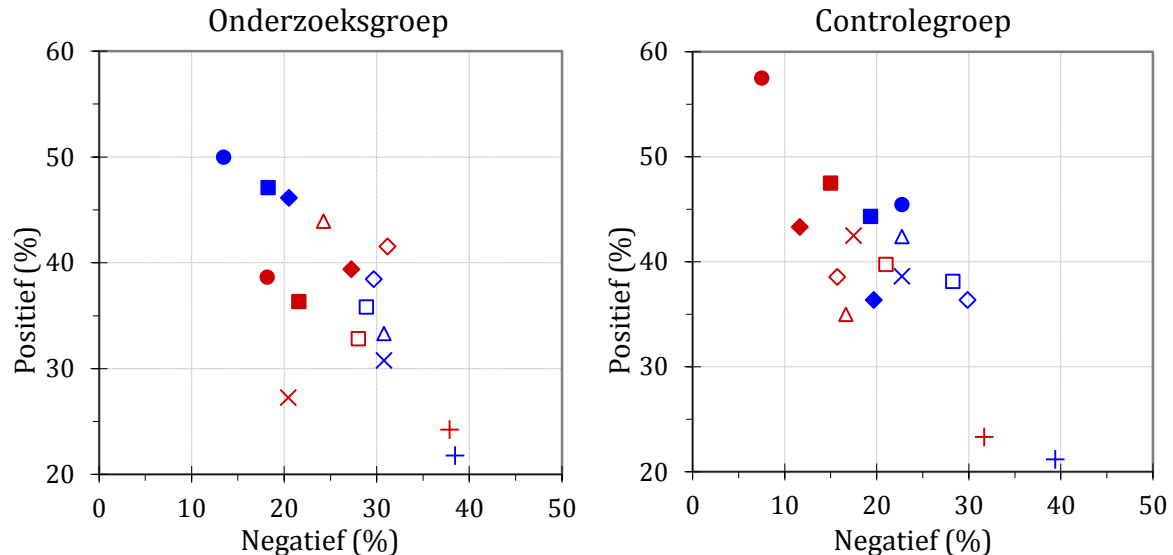
Figuur 10: Vergelijking van de vershilscores van de twee groepen, ook bekeken per cognitief domein.

Aangezien de hypothese getoetst is met een eenzijdige toets, is alleen de ondergrens van belang.

Uit deze analyse blijkt een significant vershil tussen de progressie van de onderzoeksgroep ten opzichte van de controlegroep. Wanneer alleen de scores van de toetsopgaven die betrekking hebben op één van de cognitieve domeinen worden bekeken, wordt er alleen een significant vershil gevonden wordt bij het domein 'begrijpen'.

3.3 CLASS vragenlijst resultaten

In Figuur 11 zijn de resultaten van de CLASS vragenlijst getoond. Opvallend is dat de onderzoeksgroep een daling laat zien in hun houding ten opzichte van natuurkunde, terwijl de controlegroep daarentegen een kleine stijging laat zien in de houding. Deze verschillen zijn echter niet significant.



Figuur 11: De houding van de onderzoeksgroep (a) en de controlegroep (b) voor (■) en na (■) per categorie: □ Algemene houding, + Persoonlijke interesse, × Connectie met de praktijk, ■ Probleem oplossend denken, ● Zelfvertrouwen in probleem oplossen, ◆ Verfijning in probleem oplossen, △ Conceptueel begrip, ◇ Toegepast conceptueel begrip.

De vergelijking van de vragenlijst vooraf en achteraf per groep is, per categorie, weergegeven in Tabel 10.

Tabel 10: Het verschil ($\bar{X} - \bar{Y}$) tussen de vragenlijst vooraf ($\bar{X}$) en achteraf ($\bar{Y}$) met de steekproef standaardafwijking en de kans dat de uitkomst van vragenlijsten hetzelfde zijn $P(H_0)$.

Voor de positieve respons is een positief verschil gewenst en voor de negatieve respons is een negatief verschil gewenst.

Categorie	Respons	Resultaat onderzoeksgroep in %			Resultaat controlegroep in %		
		$\bar{X}_a - \bar{Y}_a$	$s_{\bar{X}_a - \bar{Y}_a}$	$P(H_0)$	$\bar{X}_b - \bar{Y}_b$	$s_{\bar{X}_b - \bar{Y}_b}$	$P(H_0)$
Algemene houding	Positief	-3,0	10,0	0,345	1,6	14,3	0,725
	Negatief	-0,9	9,1	0,760	-7,3	16,1	0,186
Persoonlijke interesse	Positief	2,4	14,6	0,590	2,1	23,6	0,782
	Negatief	-0,6	22,9	0,934	-7,7	33,1	0,480
Connectie met de praktijk	Positief	-3,5	36,8	0,759	3,9	42,5	0,780
	Negatief	-10,3	31,8	0,307	-5,2	27,5	0,563
Probleemoplossend denken	Positief	-10,8	14,8	0,037*	3,2	18,1	0,592
	Negatief	3,3	7,5	0,175	-4,3	20,5	0,521
Zelfvertrouwen in probleem oplossen	Positief	-11,4	20,5	0,096	12,0	23,7	0,143
	Negatief	4,7	7,5	0,065	-15,2	29,3	0,135
Verfijning in probleem oplossen	Positief	-6,8	15,4	0,176	7,0	30,5	0,488
	Negatief	6,8	18,4	0,251	-8,0	17,9	0,190
Conceptueel begrip	Positief	10,6	18,4	0,085	-7,4	22,6	0,325
	Negatief	-6,5	18,7	0,273	-6,1	27,3	0,500
Toegepast conceptueel begrip	Positief	3,1	14,4	0,492	2,2	26,5	0,798
	Negatief	1,5	22,2	0,827	-14,2	25,6	0,114

Uit Tabel 10 wordt duidelijk dat het verschil tussen de vragenlijst vooraf en achteraf niet significant is. Alleen de positieve respons in de categorie 'Probleemoplossend denken' laat een significante afname zien.

4. Conclusie en discussie

Uit de statistische analyse blijkt dat met 95% zekerheid gesteld kan worden dat de onderzoeksgroep een grotere groei heeft doorgemaakt dan de controlegroep. Aangezien het belangrijkste verschil tussen de groepen het verschillende lesmateriaal is, kan uit dit onderzoek geconcludeerd worden dat het gebruik van dynamisch lesmateriaal op de iPad een positieve invloed heeft op het leereffect, met name op het gebied van begrijpen. Het startniveau van de onderzoeksgroep is weliswaar lager, hoewel dit niet significant is, maar de groei is significant groter dan die van de controlegroep.

Deze hoofdconclusie is in overeenstemming met de hypothese. Het dynamische materiaal heeft dus inderdaad bijgedragen aan het vormen van een completer mentaal model waardoor de leerlingen uit de onderzoeksgroep beter presteerden dan de leerlingen uit de controlegroep.

Op gebied van onthouden is het verschil het minst groot en de spreiding het breedst. Hieruit kan geconcludeerd worden dat voor het onthouden van kennis het belang van een mentaal model minder groot is. De invloed op het domein begrijpen is het grootst maar de verwachting dat de invloed toeneemt met de complexiteit van de cognitieve domeinen is niet aangetoond aangezien het verschil bij toepassen niet significant is. Dit was wel de verwachting aangezien in de dynamische elementen D1 en D2 een procedure (kop-staart- en parallellogrammethode) wordt uitgelegd, en uit de literatuur blijkt dat animaties hier een meerwaarde hebben (Salomon, 1979).

Uit de hogere score van de onderzoeksgroep kan geconcludeerd worden dat vanuit de Cognitive Load Theorie (CLT) (Sweller et al., 1998) gezien de '*Germane cognitive load*' hoger is bij het gebruik van dynamisch lesmateriaal, zoals ook in de theorie beschreven is.

Uit de literatuur komen verschillende visies betreffende de eigenschappen van dynamische representaties naar voren. Zo stelt Salomon (1979) dat een animatie van een beweging kan helpen om een proces of een procedure weer te geven. Dit heeft dan vanuit de CLT gezien een verlagend effect op de '*Extraneous cognitive load*'. Daar tegenover staat dat de '*Extraneous cognitive load*' ook verhoogd kan worden door dynamische representaties omdat de leerling informatie sneller moet verwerken (Höffler & Leutner, 2007) en er sprake kan zijn van de '*illusion of understanding*' (Bétrancourt, 2005). Deze effecten sluiten elkaar niet uit, maar hangen voor een groot deel af van het ontwerp van het materiaal. Aangezien uit dit onderzoek blijkt dat animaties het leereffect verhogen, kan geconcludeerd worden dat de '*Extraneous cognitive load*' verlaagd wordt door het dynamische materiaal ten opzichte van het statische materiaal. Ook volgt hieruit dat bij het ontwerp voldoende voldaan is aan het '*Congruence Principle*' en het '*Apprehension Principle*' van Tversky et al. (2002).

Er is geprobeerd om de dynamische en statische representaties zoveel mogelijk overeen te laten komen om een eerlijke vergelijking te maken (Tversky et al., 2002). Ondanks dit streven zitten er verschillen in het lesmateriaal, dit zou invloed kunnen hebben op de meetresultaten.

Wat bij de beschouwing van de resultaten verder moet worden opgemerkt is dat de groepsgroottes statistisch gezien klein waren. Ondanks deze kleine groepsgroottes bleek er wel een significant verschil te zijn maar om de betrouwbaarheid te vergroten zou in vervolgonderzoek het aan te bevelen zijn om grotere groepen te gebruiken.

Ook maakten de twee groepen deel uit van één klas, wat als voordeel had dat zij exact dezelfde lessen kregen, maar dit heeft als nadeel dat er mogelijk vermenging van de groepen en dus het lesmateriaal is ontstaan. Als er bij een vervolgonderzoek met grotere groepen gewerkt wordt kan dit voorkomen worden door een complete klas in één van beide groepen te plaatsen. Het nadeel hierbij is wel dat dit weer een negatieve invloed kan hebben op andere variabelen, zoals de gegeven uitleg.

Verder was er het opmerkelijke resultaat dat het gebruik van dynamisch lesmateriaal een negatief effect leek te hebben op de houding van de leerlingen ten opzichte van het vak natuurkunde. Dit effect bleek echter niet significant. Dit resultaat is voor een groot deel te verklaren door de lagere

motivatie van de leerlingen bij het invullen van de tweede vragenlijst. De lessenserie waarin dit onderzoek plaatsvond paste namelijk niet binnen het reguliere programma van de klas. Dit had als voordeel dat het onderzoek heel gericht en gecontroleerd uitgevoerd kon worden, maar als nadeel dat de resultaten van de eindtoets niet meetelden voor het rapport van de leerlingen. Toen de leerlingen zich dit tijdens de laatste les beseften daalde de motivatie, voor goed presteren op de toets en het aandachtig invullen van de vragenlijst, merkbaar. Hiermee zijn voor een groot deel de onverwachte resultaten van de vragenlijst te verklaren.

5. Literatuur

- Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D., & Wieman, C. E. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2, 1–14. doi:10.1103/PhysRevSTPER.2.010101
- Anglin, G. J., Vaez, H., & Cunningham, K. L. (1994). Visual Representations and Learning : the Role of Static and Animated Graphics. *Perception*, 2, 865–916. doi:10.1088/0953-8984/17/43/014
- Baek, Y. K., & Layne, B. H. (1988). Color, graphics, and animation in a computer-assisted learning tutorial lesson. *Journal of Computer-Based Instruction*, 15, 131–135.
- Bétrancourt, M. (2005). The Animation and Interactivity Principles in Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 287–296).
- Bloom, B. S., Englehard, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., Krathwohl, D. R., & Committee of College and University Examiners. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Handbook I, cognitive domain*. New York (Vol. 16). doi:10.1300/J104v03n01_03
- Carlson, R., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). Learning and understanding science instructional material. *Journal of Educational Psychology*. doi:10.1037/0022-0663.95.3.629
- Clark, J. M., & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3, 149–210. doi:10.1007/BF01320076
- Fischer, N., Smolnik, S., & Galletta, D. (2013). Examining the Potential for Tablet Use in a Higher Education Context. *Wirtschaftsinformatik*, (March), 9–22. Retrieved from <http://www.wi2013.de/proceedings/WI2013 - Track 1 - Fischer.pdf>
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1996). Views About Sciences Survey: VASS. In *Annual Meeting of the Nathional Association for Research in Science Teaching* (p. 32). Retrieved from http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/search/detailmini.jsp?_nfpb=true&_ERICExtSearch_SearchValue_0=ED394840&ERICExtSearch_SearchType_0=no&accno=ED394840
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722–738. doi:10.1016/j.learninstruc.2007.09.013
- Kendall, M. G. (1945). Elementary Statistics. *Nature*. doi:10.1038/155531b0
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
- Levie, W. H., & Lentz, R. (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communication & Technology*, 30, 195–232. doi:10.1007/BF02765184
- Levin, J. R., Anglin, G. J., & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In *The Psychology of Illustration* (pp. 51–85).

- Lewalter, D. (1997). *Lernen mit Bildern und Animationen*. Retrieved from <http://books.google.com/books?hl=nl&lr=&id=WfMhIHmaTMkC&pgis=1>
- Lowe, R. K. (2004). Animation and learning : Value for money ? In *Beyond the comfort zone: Proceedings of the 21st ASCILITE Conference* (pp. 558–561).
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31–48). doi:10.1207/s15326985ep4102_2
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational Psychology Review*. doi:10.1023/A:1013184611077
- Moser, B., & Stevens, G. (1992). Homogeneity of variance in the two-sample means test. *The American Statistician*, 46(1), 19–21. doi:10.2307/2684403
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford Psychology Series No 9 (Vol. 9). doi:10.1093/acprof
- Redish, E. F. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*. doi:10.1119/1.18847
- Rieber, L. P. L. (1991). Animation, incidental learning, and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 318–328. doi:10.1037/0022-0663.83.3.318
- Salomon, G. (1979). *Interaction of Media, Cognition, and Learning: An exploration of how symbolic forms cultivate mental skills and affect knowledge acquisition*. The Jossey-Bass Social and Behavioral Science Series.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49–69).
- Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141–156. doi:10.1016/S0959-47520200017-8
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10, 251–296. doi:10.1023/A:1022193728205
- Tversky, B., Morrison, J., & Betrancourt, M. (2002). Animation: can it facilitate? *International Journal of Human- ...*, 247–262. doi:10.1006/ijhc.1017
- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (pp. 45–62). Retrieved from http://www.biwiwiki.org/lib/exe/fetch.php/lehren-und-lernen-mit-digitalen-medien:multicodierung_multimodalitaet-2.pdf

Bijlagen

Bijlage A. Materiaal

Op de volgende pagina's is het statische lesmateriaal bijgevoegd. Dit materiaal bestaat uit twee gedigitaliseerde paragrafen uit de lesmethode Natuurkunde Overal (editie 2007) van Noordhoff Uitgevers. Het dynamische lesmateriaal is gelijk hieraan behalve de drie afbeeldingen die vervangen zijn door de animaties.

1 Het tekenen van krachten

Anne laat de twee honden van de buurvrouw uit (figuur 7.14). Beide dieren willen een andere kant op. Welke kant Anne opgaat, hangt niet alleen af van de richting die de honden op willen. Het hangt ook af van hoe hard elke hond aan de riem trekt. Kun je voorspellen welke kant het wordt?

► werkboek

Je kunt nu de startopdrachten maken.

Kracht als vector

Je kunt de kracht die op een voorwerp werkt, schematisch tekenen. Dat kan alleen maar met een symbool, want de kracht zelf kun je niet zien. We gebruiken daarvoor een pijl. Bij de pijl is de letter F geschreven. In figuur 1.2 zie je als voorbeeld de kracht op een voetbal als een speler ertegenaan schopt.

Bij het tekenen van krachtpijlen gelden de volgende drie tekenafspraken:

- De pijl *begint* op de plaats waar de kracht werkt: in het **aangrijpingspunt**
- De punt van de pijl *wijst* in de **richting** waarin de kracht werkt.
- Een kracht heeft een **grootte**. In een tekening met meer dan één kracht wordt een grotere kracht met een *langere* pijl aangegeven.

Er zijn meer grootheden die een grootte en een richting hebben. Bijvoorbeeld de snelheid van een scooter of een raket. Een snelheid kun je ook met een pijl tekenen. We noemen grootheden met een richting **vectoren**.

Een vector is een grootheid die een grootte, een richting en een aangrijpingspunt heeft. Een kracht is een vector.

De lengte van de vectorpijl zegt iets over de grootte van de kracht. Je kunt bijvoorbeeld een kracht van 10 N tekenen door een pijl die 5 cm lang is. Dat betekent dat 1 cm 2 N voorstelt.

We zeggen dan:

de schaal is $1 \text{ cm} \hat{=} 2 \text{ N}$.

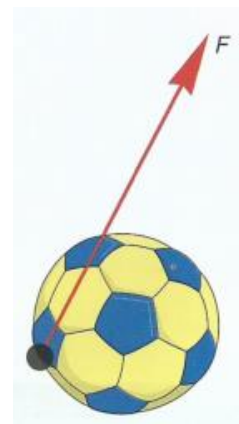
Het teken $\hat{=}$ spreek je uit als 'komt overeen met'.

Je leert in deze paragraaf:

- de eigenschappen van een vector kennen;
- de regels voor het tekenen van krachten;
- krachten bij elkaar optellen.



1.1 Wie laat wie eigenlijk uit?



1.2 De kracht die een voetballer op een bal uitoefent, heeft een grootte, een richting en een aangrijpingspunt.

Een voorbeeld: In figuur 1.3 zijn de krachten van twee honden via de riemen op de hand van het meisje getekend. De ene hond trekt met 250 N, de andere met 400 N.

►werkboek

Je kunt nu de tussenopdrachten maken.

De somkracht van twee krachten

Twee krachten die dezelfde kant op werken, kun je bij elkaar optellen. Het resultaat van die twee krachten is de zogenaamde somkracht. Deze (denkbeeldige) kracht heeft hetzelfde gevolg als de twee afzonderlijke krachten samen.

De somkracht van twee krachten die in tegengestelde richting werken, vind je door de ene met de andere te verminderen.

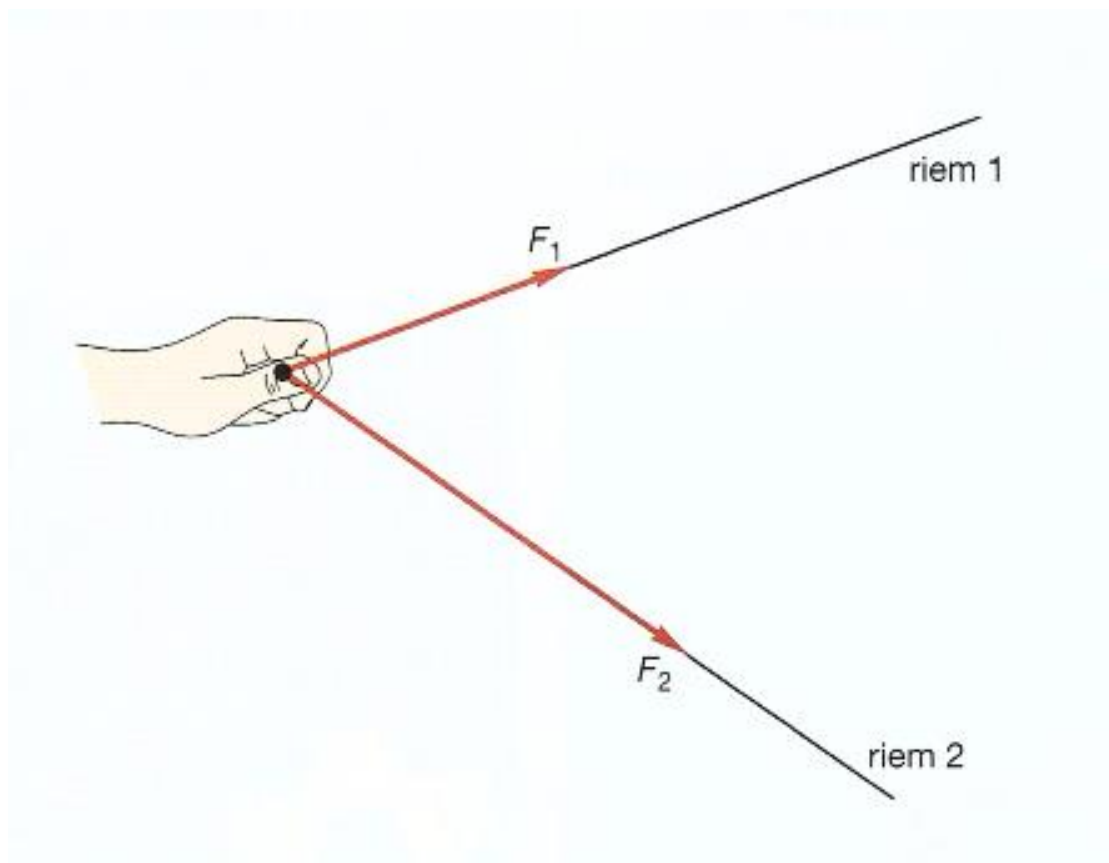
Krachten die niet dezelfde richting hebben, kunnen met de kop-staartmethode bij elkaar worden opgeteld. Het resultaat is de somkracht, die dezelfde werking heeft als alle krachten tezamen.

►werkboek

Je kunt nu de eindopdrachten maken.

Je vindt de somkracht door de staart van de ene kracht tegen de kop van de andere kracht te leggen en vervolgens de verbindingslijn te tekenen. Deze manier van de somkracht bepalen heet de

kop-staartmethode. In voorbeeld 1 zie je hoe dat gaat

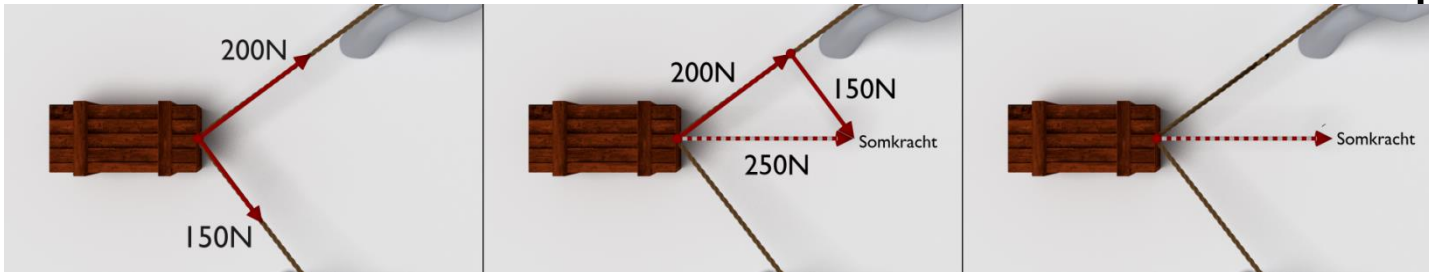


1.3 De schaal van deze figuur: $1\text{ cm} \hat{=} 100\text{ N}$

Voorbeeld 1: Met twee krachten trekken

Sigrid en Mo trekken elk met een touw aan een kist. Mo oefent een kracht van 200 N uit, terwijl Sigrid met 150 N trekt. De touwen maken een hoek van 90° met elkaar en zijn bij de kist aan elkaar geknoopt.

Bepaal de somkracht.



- Maak een tekening van de situatie in bovenaanzicht. Teken de krachten. Gebruik bijvoorbeeld als schaal $1 \text{ cm} \cong 50 \text{ N}$.
- Gebruik de kopstaart methode om de somkracht te tekenen. Bepaal de grootte van de somkracht door hem op te meten en om te rekenen met de gebruikte krachtschaal.
- De somkracht vervangt de oorspronkelijke krachten.

Antwoord:

De somkracht = 250 N

2 De resultante en evenwicht

Sommige fakirs kunnen slangen verticaal laten staan. Door goed te mediteren zou een monnik boven de grond kunnen zweven (figuur 2.1). Kun jij dat met een spijker aan een touwtje ook voor elkaar krijgen (figuur 2.2)?

De resulterende kracht

In paragraaf 1 heb je geleerd dat je twee krachten bij elkaar kunt optellen tot een somkracht. Er kunnen nog veel meer krachten op een voorwerp werken. De kracht die hetzelfde effect heeft als alle krachten samen, noemen we de resultante of de resulterende kracht.

De somkracht van twee krachten is dus ook een resulterende kracht.

Kijk maar eens in voorbeeld 2 op de volgende bladzijde.

De resultante kan ook nul zijn. In dat geval is er weer evenwicht.

In het voorbeeld:

- Onno moet dus een vriendin roepen die een kracht van 49 N naar links uitoefent. Dan blijft de winkelwagen stilstaan.

De resulterende kracht bij krachten langs één lijn vind je door de grootte van de krachten op te tellen of af te trekken. Daarbij moet je rekening houden met hun richting.

►werkboek

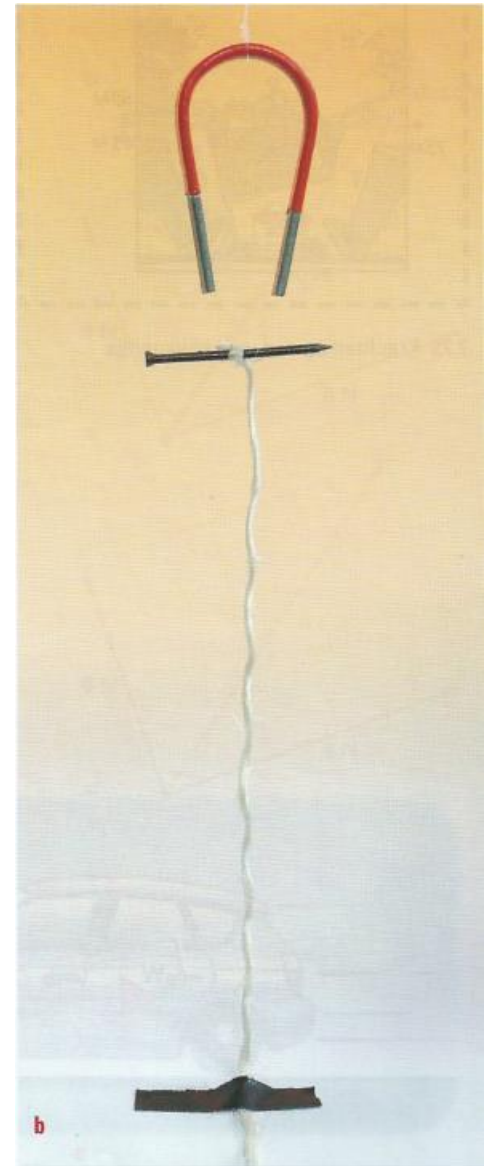
Je kunt nu de startopdrachten maken.

Je leert in deze paragraaf:

- wat de resulterende kracht voorstelt;
- de resultante van twee krachten loodrecht op elkaar met een tekening bepalen;
- hoe je bij twee krachten loodrecht op elkaar krachterevenwicht kunt bereiken.



2.1 Het verschijnsel dat mensen zouden kunnen zweven wordt 'levitatie' genoemd.



2.2 Levitatie bij een spijker?

Voorbeeld: 2 Winkelen

Cees en Inez trekken het winkelwagentje van Onno naar rechts (figuur 2.3).

Cees oefent een spierkracht uit van 63 N en Inez trekt met 59 N. Onno wil zijn kar terug en trekt met 73 N de andere kant op.

Er werkt dus $83 + 59 = 122$ N de ene, en 73 N de andere kant op. Dat is hetzelfde als er één persoon met $122 - 73 = 49$ N naar rechts zou trekken.

De resulterende kracht is 49 N naar rechts: Cees en Inez winnen.



2.3 Krachten op een winkelwagentje

Bewegen en toch evenwicht

Bij een eenparig bewegend voorwerp is iets bijzonders aan de hand met de krachten. Veronderstel dat er op een auto twee krachten werken: de motorkracht en de wrijvingskracht. Er zijn drie mogelijkheden:

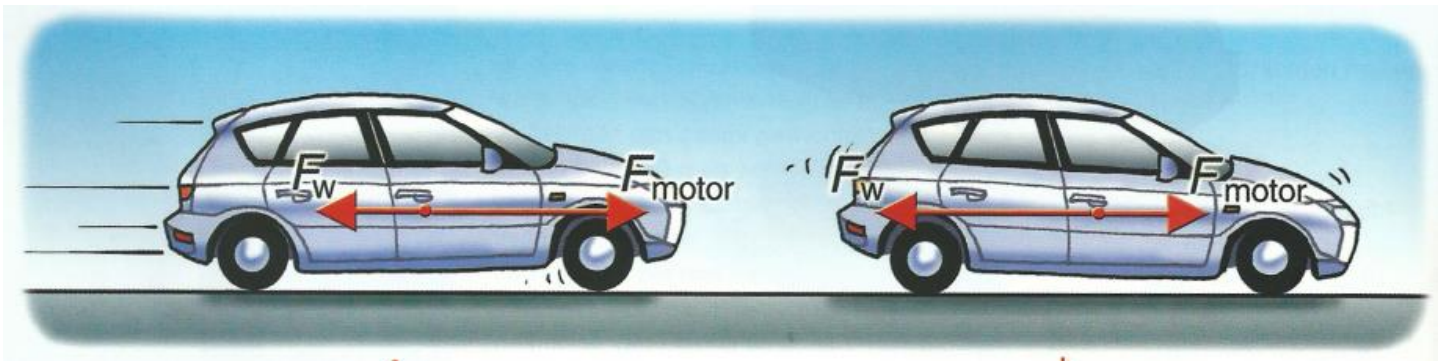
- De motorkracht is groter dan de wrijvingskracht (figuur 2.4a). Er is een resulterende kracht in de richting van de snelheid. De snelheid neemt toe. De auto versnelt.
- De motorkracht is kleiner dan de wrijvingskracht (figuur 2.4b). Er is een resulterende kracht tegen de bewegingsrichting in. De snelheid neemt af. De auto vertraagt.

- De motorkracht en de wrijvingskracht zijn even groot (figuur 2.5). De resultante is nul. Dan kan de snelheid niet groter worden (het is niet de situatie van figuur 2.4a). De snelheid kan ook niet kleiner worden (het is ook niet de situatie van figuur 2.4b). De snelheid moet dus wel gelijk blijven. De auto beweegt eenparig! In figuur 2.5 is dat getekend.

Bij een eenparig bewegend voorwerp of een voorwerp dat op zijn plaats blijft, is de resulterende kracht nul.

►werkboek

Je kunt nu de tussenopdrachten maken.



2.4 a en b Horizontale krachten op een auto



2.5 In deze situatie staat de auto niet stil, maar beweegt eenparig!

Loodrechte krachten

In voorbeeld 1 heb je geleerd de somkracht van twee krachten te tekenen met de kop-staartmethode. Bij loodrechte krachten (figuur 2.6a) kun je ook een rechthoek tekenen (figuur 2.6b). De diagonaal in die rechthoek is dan de somkracht (figuur 2.6c).

Als de krachten niet loodrecht zijn, teken je een parallellogram.

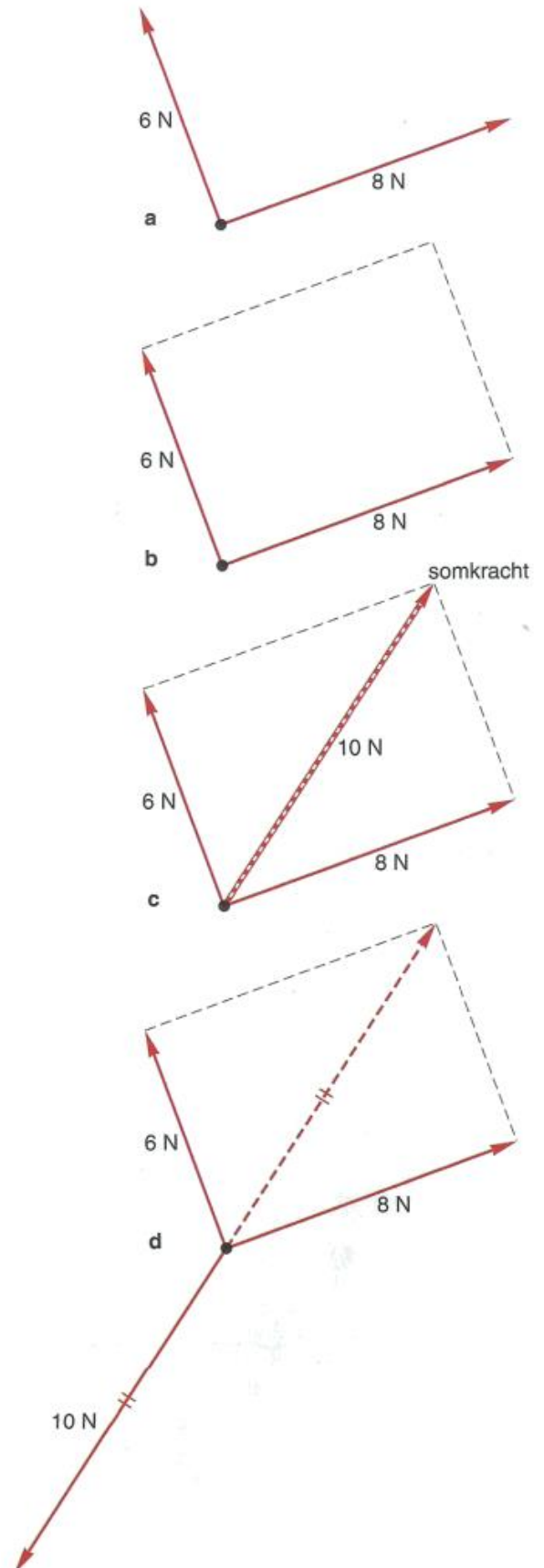
De somkracht is de resulterende kracht als er geen andere krachten werken.

Voor evenwicht is nog een derde kracht nodig. Die derde kracht moet dan de somkracht van twee krachten compenseren zodat de resulterende kracht nul wordt (figuur 2.6d).

De somkracht bij twee loodrechte krachten vind je door een krachtenrechthoek te tekenen en de diagonaal op te meten. Evenwicht krijg je door deze somkracht met een derde kracht te compenseren.

► werkboek

Je kunt nu de eindopdrachten maken.



2.6 In deze figuur geldt dat $1 \text{ cm} \cong 2 \text{ N}$

Bijlage B. Voortoets

1 Kracht tekenen

- a Welke informatie moet je hebben over een kracht om hem te kunnen tekenen. Noem drie eigenschappen.
- b Teken een kracht van 270 N die schuin naar rechts en naar boven werkt. De kracht maakt een hoek van 30° met de horizontale lijnen van het papier. Gebruik een krachtschaal van $1\text{ cm} \hat{=} 50\text{ N}$

2 Kop-staart en parallellogram methode

- a Waarvoor worden de kop-staart- en de parallellogrammethode gebruikt?
- b Wat zijn de verschillen tussen de kop-staart en de parallellogram methode?

3 Kist

Op een vloer staat een kist. Erik duwt met een horizontale kracht F tegen de kist. Tijdens bewegen is de schuifwrijvingskracht $F_w = 100\text{ N}$.

Wat gebeurt er met de snelheid van de kist in de volgende gevallen?

- c $F = 50\text{ N}$
- d $F = 100\text{ N}$
- e $F = 200\text{ N}$



Bijlage C. Eindtoets

1 Theorie

- a Noem de drie eigenschappen van een kracht.
- b Geef in de volgende situaties aan in welke richting de resulterende kracht werkt.
- Een auto die met een constante snelheid op de snelweg rijdt
 - Een parachute springer, vlak nadat hij uit het vliegtuig springt
 - Een bungee jumper op het moment dat het elastiek gespannen wordt
 - Een regendruppel die met constante snelheid naar beneden valt

2 Krachten tekenen

- c Teken de resulterende of netto kracht F_{res} in figuur 1.
Gebruik de kop-staartmethode

In figuur 1 heeft kracht F_1 een grootte van 20 N.

- d Wat is hier de krachtschaal?
- e Bepaal de grootte van de nettokracht F_{res} .



Figuur 1

3 Auto

Een auto ondervindt tijdens het rijden krachten tegen de rijrichting in en krachten in de rijrichting. Wat kun je zeggen over de voorwaartse krachten, de achterwaartse krachten en de nettokracht als deze auto

- a versnelt
- b met constante snelheid rijdt
- c afremt



4 Sleepboten

Twee sleepboten proberen een schip los te trekken. Jammer genoeg lukt dat niet. De situatie is op schaal getekend in figuur 2. Kracht $F_1 = 4,0 \cdot 10^4 \text{ N}$.

- a Teken de somkracht van F_1 en F_2 .
Gebruik de parallellogrammethode
- b Teken de kracht F_3 waarmee de zeebodem het schip vasthoudt.
- c Bepaal de grootte van de kracht F_3 .



Figuur 2

Bijlage D. CLASS vragenlijst

	helemaal mee oneens	mee oneens	neutraal	mee eens	helemaal mee eens
Een lastig probleem bij het leren voor natuurkunde, is het onthouden van alle informatie die ik nodig heb.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik een natuurkundeopgave aan het maken ben, probeer ik in te schatten wat een redelijk antwoord is qua grootte.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik denk na over de natuurkunde die ik om mij heen zie in het dagelijks leven.	☐	☐	☐	☐	☐
Het is nuttig voor mij om héél veel opgaven te maken wanneer ik voor natuurkunde leer.	☐	☐	☐	☐	☐
Nadat ik een natuurkundig onderwerp heb bestudeerd en ik het gevoel heb dat ik het snap, vind ik het nog steeds moeilijk om opgaven over hetzelfde onderwerp op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Natuurkunde bestaat uit veel verschillende onderwerpen die niets met elkaar te maken hebben.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik een natuurkunde som maak, zoek ik de formules op die de gegeven variabelen bevatten en dan vul ik de waarden in.	☐	☐	☐	☐	☐
Het nauwkeurig lezen van het natuurkunde boek is voor mij een goede manier om natuurkunde te leren.	☐	☐	☐	☐	☐
Er is vaak maar één goede manier om een natuurkunde opgave op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik ben niet tevreden totdat ik begrijp waarom iets werkt zoals het werkt.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik kan natuurkunde niet goed leren als de leraar de dingen niet goed uitlegt in de klas.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik verwacht niet dat natuurkundige formules mij helpen om concepten te begrijpen, de formules zijn gewoon nodig om sommen op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik leer natuurkunde om kennis te vergaren die nuttig is in mijn leven buiten school.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik de eerste keer vastloop bij het oplossen van een natuurkundeopgave, probeer ik normaal gesproken altijd een andere manier te vinden om het op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Bijna iedereen is in staat om natuurkunde te begrijpen, als ze maar genoeg hun best doen.	☐	☐	☐	☐	☐
Het begrijpen van natuurkunde houdt in dat je in staat ben iets te herinneren wat je gelezen of gezien hebt.	☐	☐	☐	☐	☐
Er kunnen twee verschillende goede antwoorden zijn bij een natuurkunde opgave als ik het probleem op twee verschillende manieren kan oplossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Om natuurkunde te begrijpen bespreek ik het met vrienden en medeleerlingen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik besteed niet meer dan vijf minuten aan een natuurkunde opgave voordat ik het opgeef of dat ik de hulp zoek van iemand anders.	☐	☐	☐	☐	☐
Als ik de formule niet kan bedenken die ik nodig heb bij een natuurkunde opgave op een toets, dan kan ik niks doen om de som op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Als ik een methode, die werkt voor een bepaalde opgave, wil gebruiken voor een andere opgave, dan moeten die opgaven wel erg op elkaar lijken.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik een natuurkundeopgave heb gemaakt en het antwoord is erg anders dan ik had verwacht, dan vertrouw ik op mijn berekening in plaats van de opgave op een andere manier proberen op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
Bij natuurkunde is het voor mij belangrijk dat ik de formules begrijp voordat ik ze correct kan toepassen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik vind het leuk om natuurkunde opgaven op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐

Bij natuurkunde heb je wiskundige formules die belangrijke relaties aangeven tussen meetbare waarden.	☐	☐	☐	☐	☐
Het is belangrijk voor de regering om nieuwe wetenschappelijke ideeën goed te keuren voordat ze wijdverbreid geaccepteerd worden.	☐	☐	☐	☐	☐
Door natuurkunde te leren veranderen mijn ideeën over hoe de wereld werkt.	☐	☐	☐	☐	☐
Om natuurkunde te leren, hoef ik alleen maar oplossingen te onthouden voor standaard opgaven.	☐	☐	☐	☐	☐
De analytische vaardigheden die ik nodig heb om natuurkunde te begrijpen kunnen handig voor mij zijn in het dagelijks leven.	☐	☐	☐	☐	☐
Veel tijd besteden aan het begrijpen waar formules vandaan komen is verspilling van tijd.	☐	☐	☐	☐	☐
Volgens mij is het aandachtig bestuderen van enkele opgaven een goede manier om natuurkunde te leren.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik kan meestal wel een manier vinden om natuurkunde opgaven op te lossen.	☐	☐	☐	☐	☐
De natuurkundige onderwerpen hebben weinig te maken met de dingen die ik in het dagelijks leven ervaar.	☐	☐	☐	☐	☐
Soms los ik natuurkunde opgaven op meerdere manieren op, zodat ik het beter ga begrijpen.	☐	☐	☐	☐	☐
Om natuurkunde te begrijpen, denk ik soms aan mijn eigen ervaring en koppel ik die aan het onderwerp waar we mee bezig zijn.	☐	☐	☐	☐	☐
Het is mogelijk om natuurkundige begrippen uit te leggen zonder wiskundige formules.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik een natuurkunde opgave maak, bedenk ik expliciet welke natuurkundige concepten ik kan toepassen.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik vastloop bij een natuurkunde opgave, is er geen mogelijkheid dat ik er zelf uitkom.	☐	☐	☐	☐	☐
Wanneer ik natuurkunde leer, koppel ik de belangrijke informatie liever aan wat ik al weet, dan dat ik het alleen maar onthoud op de manier zoals het verteld wordt.	☐	☐	☐	☐	☐