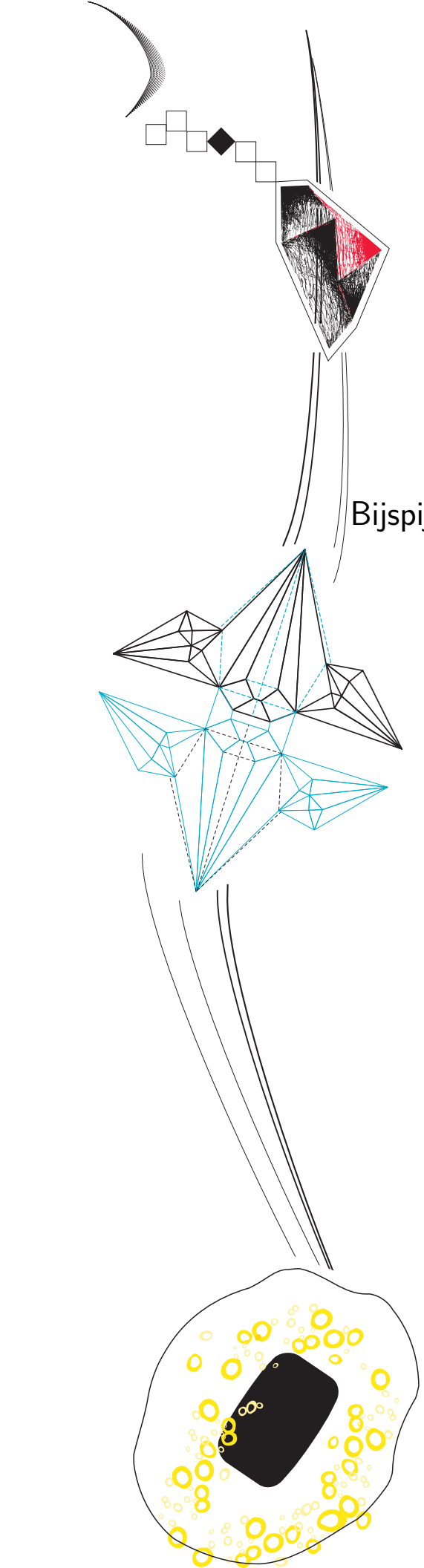




Onderzoek van Onderwijs Bijspijkeren van de kennis over 'krachten' in havo 3

Wout Cijssouw (s1099612)

18 augustus 2019

UNIVERSITY OF TWENTE.

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	3
2	Inleiding	4
2.1	Huidige situatie	4
2.2	Gewenste situatie	4
2.3	Onderzoeksvragen	5
3	Methode	6
3.1	Voorkennis	6
3.2	Ontwerp van de handleiding	6
3.3	Lessen	7
3.4	Planning van de lessenserie	8
3.5	Toetsing en analyse	8
3.6	Methode voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen	9
3.6.1	Deelvraag 1: Wat zijn de resultaten?	9
3.6.2	Deelvraag 2: Wat is het effect van de volgorde?	9
3.6.3	Deelvraag 3: Welke misconcepten komen voor?	9
3.6.4	Hoofdvraag: In welke mate wordt het niveau gehaald?	9
3.7	Persoonlijke gegevens	9
4	Resultaten	10
4.1	Uitkomsten van de toetsen	10
4.2	Verschillen tussen de klassen	10
4.3	Misconcepten	11
5	Analyse	15
5.1	Verloop van de lessen	15
5.1.1	Klas Als Team	15
5.2	Validiteit van de testen	15
5.3	Uitkomsten van de toetsen	15
5.4	Verschillen tussen de klassen	16
5.5	Deelvraag 3: Misconcepten	16
5.5.1	Krachten theorie	16
5.5.2	Resulterende krachten	17
5.5.3	Kracht en bewegen	17
6	Conclusies	19
6.1	Uitkomsten van de toetsen	19
6.2	Verschillen tussen de klassen	19
6.3	Misconcepten	19
6.3.1	Krachten theorie	19
6.3.2	Resulterende krachten	20
6.3.3	Kracht en beweging	20
6.3.4	Veel voorkomende fouten	20
6.4	Hoofdvraag	20
6.5	Bruikbaarheid van de lessenserie	21

7 Discussie	23
7.1 Resultaten bij de toetsen	23
7.2 Effect van de volgorde	23
7.3 Welke misconcepten zijn er?	24
7.4 Hoofdvraag	24
APPENDICES	25
A Toelichting bij de methode	26
A.1 Leerdoelen voor 'Overall Natuurkunde'	26
A.2 Misconcepten	26
A.3 Ontwerp van de testen	27
A.4 Data analyse	27
A.4.1 Gemiddelden en standaard deviaties	27
A.4.2 t-test	27
B Aanvraag medewerking ouders	31
C Vragen en resultaten bij de pre- en posttest	32
D Discussie resultaten per thema	36
D.1 Krachtentheorie	36
D.1.1 Theorie: pre- en posttest	36
D.1.2 Theorie: SO	36
D.2 Resulterende krachten	37
D.2.1 Resulterende krachten: pre- en posttest	37
D.2.2 Resulterende krachten: SO	38
D.3 Kracht en beweging	38
D.3.1 Kracht en beweging: pre- en posttest	39
D.3.2 Kracht en beweging: SO	39
D.4 Eindresultaten	40
E Schriftelijke overhoring	41
F Klas Als Team	48
G Opdrachten 'Klas Als Team-activiteit'	49
H Skilltree	55
Literatuur	57

Hoofdstuk 1

Samenvatting

De havo-leerlingen van het Vellesan College krijgen in de eerste twee leerjaren geen natuurkunde-onderwijs over het onderwerp 'Krachten.' In het derde jaar hebben zij wel kennis over krachten nodig bij de onderwerpen 'bewegen' en 'werktuigen.' Om deze kennis bij te spijkeren is een docentgestuurde lessenserie ontwikkeld en is daarbij een handleiding geschreven welke zal dienen als leidraad bij de lessenserie.

Binnen de Natuurkundesectie wordt geëxperimenteerd met lessenseries die leerlingen zelfstandig in willekeurige volgorde kunnen doorlopen. Om te onderzoeken of het hoofdstuk 'krachten' geschikt is om in willekeurige volgorde te doorlopen, wordt bij twee van de drie hoofdstukken geen voorkennis over krachten verondersteld. Om te testen of de volgorde van de lessenserie effect heeft op de resultaten van de leerlingen, hebben de deelnemende klassen de hoofdstukken in verschillende volgorde doorlopen. Aan het begin en aan het einde van de lessenserie is een formatieve test afgenomen. Daarnaast is de kennis van de leerlingen summatief vastgesteld in een schriftelijke overhoring. Uit de resultaten blijkt dat de klassen de schriftelijke overhoring met gemiddeld meer dan 50% van de punten afsluiten. De aanwezigheid van misconcepten is onderzocht, ook is een analyse van veel voorkomende fouten gemaakt. In de resultaten zijn geen significante verschillen tussen de klassen aangetroffen, al is het leerlingaantal te klein geweest om betrouwbare uitspraken te kunnen doen.

Hoofdstuk 2

Inleiding

Het Vellesan College is een openbare scholengemeenschap in IJmuiden die onderwijs aanbiedt van vmbo-beroepsgericht tot vwo. Op de havo-/vwo-afdeling krijgen de leerlingen vanaf de eerste klas het vak NaSk (natuur-/scheikunde) aangeboden. Vanaf de derde tot en met de zesde klas worden de vakken natuur- en scheikunde apart aangeboden.

NaSk op het Vellesan College bestaat voor het grootste deel uit scheikunde onderwerpen. Hierdoor is er minder aandacht voor de natuurkunde onderwerpen en missen de leerlingen voorkennis wanneer zij in de derde klas starten. De vakgroep Natuurkunde van de havo-/vwo-afdeling wil voor de leerlingen uit de derde klas een module ontwikkelen om de kennis over krachten op niveau te krijgen. In dit verslag wordt beschreven hoe de lessenserie en leerlinghandleiding tot stand zijn gekomen en hoe de resultaten zijn onderzocht.

2.1 Huidige situatie

Er zijn op het Vellesan College in schooljaar 2018/2019 drie havo 3-klassen en één vwo 3-klas. Er wordt gewerkt met de methode 'Overal Natuurkunde' van Poorthuis, Diederik, Steenbergen en Verhagen (2013). Alle klassen werken met een digitale versie van de methode op de ipad. De hoofdstukken uit het boek hebben een zogenoemde 'spiraalvorm,' hierbij wordt vanuit een overkoepelende context de lesstof aangeboden zoals wordt beschreven door Wilson, Evans en Old (2015) en Bennett, Gräsel, Parchmann en Waddington (2005). De opbouw van de onderwerpen in het boek is niet altijd logisch voor leerlingen en docenten doordat er een sterke nadruk op de context ligt.

Het natuurkundecurriculum van de derde klassen bevat hoofdstukken waarbij voorkennis over 'krachten' nodig is. Het vak 'NaSk' behandelt het onderwerp 'krachten' niet, waardoor de leerlingen niet over de vereiste voorkennis beschikken. Dit is in de voorgaande jaren bijgespijkerd door middel van klassikale uitleg en opgaven van losse stencils. Zowel de docenten als de leerlingen missen de structuur die een boek of studiehandleiding geeft en ervaren hierdoor problemen.

Binnen de natuurkundesectie van het Vellesan College wordt veel geëxperimenteerd met 'gamification' van het onderwijs. Hierbij wordt de lesstof aangeboden in spelvorm. Een voorbeeld hiervan is de 'skilltree.' Bij het werken met de skilltree wordt de lesstof opgedeeld in leerdoelen. De leerlingen kunnen zelf kiezen in welke volgorde ze deze leerdoelen behandelen en kunnen autonoom door het hoofdstuk heen. Meer

informatie over de skilltree kan worden gevonden op de website www.playbookgamification.nl¹. Om de leerlingen autonomie te kunnen bieden, is het belangrijk dat er keuzemogelijkheden zijn met betrekking tot de volgorde waarin het hoofdstuk doorlopen wordt. Dit betekent dat de paragrafen van een hoofdstuk onafhankelijk van elkaar te begrepen moeten kunnen worden. Volgens de 'Self determination theory' van Ryan en Deci (2000) verhoogt deze autonomie de motivatie waarmee de leerling aan het vak werkt. De leerling voelt zich eigenaar van het eigen leerproces. Leerlingen die meer autonomie krijgen zullen ook voor natuurwetenschappelijke vakken gemotiveerder zijn, zoals is onderzocht door (Byman, Lavonen, Juuti & Meisalo, 2012).

Momenteel wordt er met een skilltree gewerkt bij het hoofdstuk licht. De leerlingen krijgen een skilltree en iedere les een set met formatieve toetsen die ze moeten maken. Het lesmateriaal is tot nu toe klassikaal gedoceerd, maar zal in de toekomst via een flipped the classroom-idee worden aangeboden. De filmpjes hiervoor worden momenteel door de Natuurkunde docenten ontwikkeld en zijn te vinden op de youtube pagina van de sectie². In eigen lessen met de skilltree over 'licht' is te merken dat de leerlingen gemotiveerder te werk gaan. Het werken volgens de skilltree-methode is mogelijk in de toekomst ook voor het onderwerp 'krachten' een optie. Echter moet het hoofdstuk in dat geval zodanig ontworpen worden dat de paragrafen van het hoofdstuk onafhankelijk van elkaar doorlopen kunnen worden.

2.2 Gewenste situatie

Door middel van een docentgestuurde lessenserie zal de kennis over krachten van de leerlingen bijgespijkerd worden. Een niveau dat de leerlingen in staat stelt om aan de hoofdstukken *Kracht en bewegen* en *Werktuigen* uit Overal Natuurkunde te beginnen, moet bereikt worden. De leerdoelen die hierbij horen zijn vastgesteld aan de hand van de opgaven en uitleg bij deze hoofdstukken. In bijlage A.1 wordt de inhoud van deze hoofdstukken kort toegelicht. Om de lessenserie structuur te geven zijn de drie thema's 'Krachtentheorie,' 'Resulterende krachten' en 'Kracht en beweging' in het leven geroepen. Ieder leerdoel wordt ingedeeld in één van deze thema's.

Krachtentheorie:

- De leerlingen kunnen effecten van krachten op een voorwerp benoemen.

¹Deze website is voor het laatst geraadpleegd op 13/07/2019

²https://www.youtube.com/results?search_query=lokaal+b19

- De leerlingen kunnen verschillende krachten herkennen en benoemen.
- De leerlingen weten dat krachten vectoren zijn en kunnen deze tekenen.

Resulterende krachten:

- De leerlingen kunnen een resulterende kracht op een voorwerp uitrekenen.
- De leerlingen weten wat de normaalkracht is en kunnen hiermee werken.

Kracht en beweging:

- De leerlingen kunnen aan de hand van de resulterende kracht aangeven of een voorwerp versnelt, vertraagt of met constante snelheid beweegt.
- De leerlingen herkennen voorstuwende en tegenwerkende krachten en kunnen deze benoemen.

Aan het einde van het hoofdstuk moeten de klassen bij ieder thema op een schriftelijke overhoring meer dan de helft van de punten kunnen behalen.

Om de lessenserie structuur mee te geven, wordt een handleiding voor de leerlingen ontwikkeld. Het inkopen van een lesmethode wordt niet goedgekeurd door de schoolleiding. De handleiding moet de leerlingen voorzien van theoretische achtergrond en oefenopgaven. De eerste versie zal worden samengesteld uit andere tekstboeken en binnen de sectie ontwikkeld lesmateriaal. Wanneer de handleiding succesvol is zal hier een volledig 'eigen' versie van worden gemaakt, zonder materiaal uit andere lesmethoden.

De wens vanuit de vakgroep is om het onderwerp 'krachten' in de toekomst aan de hand van een skilltree aan te kunnen bieden. Hiervoor moeten de thema's binnen de lessenserie geen (voor) kennis vanuit andere thema's veronderstellen zodat de paragrafen onafhankelijk van elkaar doorlopen kunnen worden.

Wanneer de leerlingen zullen leren over de natuurkundige concepten zoals krachten, wil dit niet automatisch zeggen dat deze concepten correct geïnterpreteerd worden. Verkeerde interpretatie van de concepten kan leiden tot zogenoemde misconcepten. In het ontwerp van de toetsen zal rekening worden gehouden met enkele bekende misconcepten, zodat in kaart kan worden gebracht welke misconcepten voor komen aan het einde van de handleiding.

2.3 Onderzoeksvragen

In het onderzoek dat in dit verslag wordt beschreven, wordt door middel van een drietal onderzoeksvragen antwoord gegeven op de hoofdvraag:

- **In welke mate kan een lessenserie met handleiding de kennis over krachten van havo 3-leerlingen naar**

het gewenste niveau krijgen?

In het onderzoek worden de resultaten van de leerlingen per thema onderzocht. Er zal worden gekeken of de leerlingen het gewenste niveau behalen, of er verschillen tussen de klassen zijn en welke misconcepten aan het einde van het hoofdstuk voorkomen.

- **Deelvraag 1: Wat zijn de resultaten van de havo 3-leerlingen op toetsen over krachten nadat zij de lessenserie gevolgd hebben?**

Aan het einde van de lessenserie wordt aan de hand van de resultaten bepaald of de leerlingen de thema's bij de lessenserie op het gewenste niveau beheersen.

- **Deelvraag 2: Wat is het verschil in de resultaten van de havo 3-klassen wanneer zij de lessenserie in een andere volgorde doorlopen?**

De klassen zullen de hoofdstukken in een andere volgorde doorlopen. Aan het einde van het hoofdstuk zal worden onderzocht of er verschillen tussen de klassen zijn.

- **Deelvraag 3: Welke misconcepten over krachten komen voor aan het begin en einde van de lessenserie?**

Op basis misconcepten die uit de literatuur bekend zijn, zal aan het begin en aan het einde van de lessenserie kwantitatief worden gekeken welke misconcepten aanwezig zijn. Aan het einde van het hoofdstuk zal ook kwalitatief worden onderzocht welke misconcepten of veel gemaakte fouten voorkomen.

Hoofdstuk 3

Methode

In dit hoofdstuk worden de ontwerpprincipes die gebruikt zijn bij het tot stand komen van de lessenserie besproken. Ook zal besproken worden hoe de resultaten tot stand zullen komen en op welke manier deze worden geanalyseerd.

De lessenserie is ontworpen aan de hand van vijf richtlijnen die worden gegeven voor het ontwerp van een vraag/onderzoeks gedreven (Inquiry based) lessenserie, zoals beschreven wordt door Goldberg, Otero en Robinson (2010).

1. Leren gaat verder vanaf de voorkennis.
2. Leren is een complex en iteratief proces en heeft daarom structuur nodig.
3. Leren wordt ondersteund door interactie met hulpmiddelen.
4. Interactie met andere leerlingen zal het leren ondersteunen.
5. Om te kunnen leren zijn bepaalde gebruiken en verwachtingen in het klaslokaal nodig.

Deze richtlijnen zijn gebruikt in het ontwerp van de handleiding, in de tekst hieronder wordt uitgelegd hoe dit gedaan is.

3.1 Voorkennis

Leren gaat verder vanaf de voorkennis, daarom zal gedurende de lessenserie iedere les starten met een terugblik op de lesstof uit de voorgaande lessen. Daarnaast zal het werk dat de leerlingen hebben gedaan besproken worden.

Zoals door onder andere Driver, Guesne en Tiberghien (2000) en (Goldberg et al., 2010) wordt beschreven, vormen ook ervaringen uit het dagelijks leven een deel van de voorkennis. Veel leerlingen hebben voordat ze natuurkundelessen krijgen al ideeën en denkbeelden ontwikkeld over natuurkunde. Deze denkbeelden staan bekend als zogenoemde preconcepten. Preconcepten komen vaak niet overeen met de daadwerkelijke wetten van de natuurkunde, maar kunnen voor de leerlingen logische en samenhangende denkbeelden zijn.

Wanneer de leerlingen zullen leren over de natuurkundige concepten, wil dit niet automatisch betekenen dat deze concepten correct geïnterpreteerd worden. Verkeerde interpretatie van de concepten, of het 'vermengen' van het geleerde met preconcepten, kan leiden tot zogenoemde misconcepten. De leerling begrijpt het natuurkundig concept op een verkeerde manier, die volkomen logisch is volgens de denkwijze van de leerling. Het is vaak erg lastig om deze misconcepten los te laten. In de praktijk komt voor dat leerlingen correcte berekeningen kunnen

uitvoeren zonder de achterliggende concepten goed te begrijpen zoals in het onderzoek van (Docktor, Strand, Mestre & Ross, 2015) beschreven wordt. In het ontwerp van de testen die bij dit onderzoek horen zal rekening worden gehouden met deze misconcepten, hiervoor is een literatuurstudie uitgevoerd welke in bijlage A.2 is weergegeven.

3.2 Ontwerp van de handleiding

Leren is een complex en iteratief proces en heeft daarom structuur nodig zoals (Goldberg et al., 2010) omschrijft. De handleiding bij de lessenserie moet de leerlingen deze structuur bieden. De lessen zullen gegeven worden in de volgorde waarin de handleiding het onderwerp doorloopt. Op deze manier kunnen de leerlingen altijd terug kunnen vallen op de handleiding, of zelfs onafhankelijk van de docent door het hoofdstuk heen gaan.

Om de lessenserie aan te laten sluiten op de gestelde doelen, is de handleiding ontworpen volgens het 'backward design principle' van Bowen (2017). Aan de hand van de hoofdstukken uit de methode is bepaald wat de leerlingen in de volgende hoofdstukken moeten kunnen. Hieruit zijn de leerdoelen bepaald, deze zijn eerder besproken in hoofdstuk 2.2. Er is een inventarisatie van de toetsvragen gemaakt. In het ontwerpproces van de handleiding is begonnen met het laatste paragraaf dat de leerlingen zullen behandelen en is naar het eerste paragraaf toe gewerkt.

De handleiding is samengesteld uit onderdelen van de vijfde editie van 'Overal NaSk' voor 2HV van Majewski et al. (2016), 'Overal Natuurkunde voor 4V' van Sonneveld (2012), 'Nova 3HV' van Verhagen (N.B.), University physics van Young en Ford (2015) en 'Conceptual Physics' van Hewitt (2014). Ook zijn er opgaven door de leden van de natuurkundesectie ontwikkeld. In een later stadium zullen de opgaven en uitleg verder worden uitgewerkt en zal de handleiding met volledig eigen materiaal 'plagiaatvrij' worden gemaakt.

De theorie van 'revised Bloom,' zoals beschreven door Krathwohl (2002) stelt dat kennis opgebouwd moet worden vanaf een basisniveau. Hiervoor moet men eerst de theoretische begrippen kennen, vervolgens de methodes trainen alvorens deze in een onbekende situatie toe te kunnen passen en nieuwe kennis te kunnen creëren. Deze opbouw zal zoveel mogelijk worden aangehouden binnen het ontwerp van ieder paragraaf.

De theorie in de handleiding wordt zoveel mogelijk in context aangeboden. De vier vuistregels voor het opstellen van een

goede context, zoals gedefinieerd door Gilbert (2006) worden aangehouden bij het ontwerp van de opgaven.¹ De context zal bij de voorbeelden in de lessenserie steeds verschillen, er is geen sprake van een centrale context.

De eerder geïntroduceerde thema's zullen als hoofdstukken van de handleiding dienen. Gebaseerd op ieder leerdoel wordt een paragraaf ontworpen. De uitleg en de opgaven zullen hier globaal worden besproken.

Krachtentheorie

Het onderwerp 'krachtentheorie' kan zonder voorkennis over krachten gemaakt worden.

- §1 De effecten die krachten op een voorwerp kunnen hebben: vervorming, verandering van richting en grootte van de snelheid: de lesstof en de opgaven zijn gericht op het niveau van begrijpen en toepassen.
- §2 Soorten krachten: er worden voorbeelden gegeven en de notatie-conventie wordt uitgelegd. De leerlingen maken opgaven op het niveau van begrijpen, toepassen en analyseren.
- §3 Krachten tekenen: grootte, richting en het aangrijpingspunt van krachten worden behandeld. Het zwaartepunt en stabiliteit worden uitgelegd. De uitleg en opgaven beslaan het niveau begrijpen tot en met analyseren.

Resulterende krachten

Het hoofdstuk 'Resulterende krachten' zal uit twee paragrafen bestaan. Voor dit hoofdstuk is voorkennis uit het hoofdstuk 'Krachtentheorie' vereist.

- §1 resulterende krachten langs een werklijn. De lesstof loopt van het niveau begrijpen tot evalueren.
- §2 Krachten evenwicht, veerkracht en normaalkracht: de opgaven starten bij het niveau onthouden en gaan door tot het niveau analyseren.

Kracht en beweging

De eerste twee paragrafen van het hoofdstuk over kracht en bewegen zijn zo ontworpen dat er geen voorkennis uit 'Krachtentheorie' nodig is. Paragraaf 3 gaat over resulterende kracht en beweging, hiervoor is de kennis uit het hoofdstuk over resulterende krachten nodig.

§1 Manieren waarop een object kan bewegen, versneld, constante snelheid en vertraagd, en de relatie met voorstuwende en tegenwerkende krachten. De lesstof en vragen gaan van het niveau begrijpen tot evalueren.

§2 Voortstuwende en tegenwerkende krachten: voorbeelden worden gegeven, weerstandskrachten en de zwaartekracht worden besproken. Er zijn uitleg en opgaven vanaf het niveau onthouden tot evalueren.

§3 Resulterende kracht en beweging: de opgaven sluiten deels aan bij de uitleg, maar overstijgen ook de verschillende hoofdstukken. De lesstof omvat de niveaus van begrijpen tot evalueren.

De hoofdstukken 'Krachtentheorie' en 'Kracht en beweging' zijn beide geschikt om mee te starten. Het hoofdstuk 'Resulterende krachten' zal altijd volgen op het hoofdstuk 'Krachtentheorie.'

3.3 Lessen

De lessen zullen zoveel mogelijk verlopen volgens een vast lesplan. In een klassengesprek worden de leerdoelen genoemd en wordt de voorkennis opgehaald. Vervolgens worden de gemaakte opgaven nagekeken en besproken. Wanneer de planning het toelaat wordt een conceptcheck gedaan zoals beschreven wordt in het artikel van Van den Berg en Westbroek (2014). De kern van de les wordt gevormd door de klassikale uitleg van de docent. Tijdens de uitleg worden aantekeningen gemaakt op het bord, welke de leerlingen overnemen. Gedurende de lessen mogen de leerlingen zelf kiezen of zij meedoen met de klassikale uitleg of verder werken uit de handleiding, voorwaarde is dat zij de uitleg niet verstoren.

Zoals de richtlijnen van (Goldberg et al., 2010) aangeven, ondersteunt interactie met hulpmiddelen het leren. Gedurende de lessenserie wordt iedere les een voorbeeld in de vorm van een demonstratieproef of practicum aangeboden, deze zullen onder andere afkomstig zijn uit literatuur als 'The new resourceful physics teacher' Gibbs (2011), 'Show de fysica' Frederik (2015) en uit het repertoire van de natuurkunde sectie. Een voorbeeld van een dergelijke proef is: het meten van de glijweerstand van de eigen schoen en deze vergelijken met die van klasgenoten, docent en teamleider.

Bij de demonstraties, maar ook tijdens de uitleg wordt het 'Predict Observe Explain-model' van Gunstone en White (1981) gebuikt. De leerlingen voorspellen wat er zal gebeuren (meestal stemmen met hand opsteken), desgevraagd zullen ze de redenering eerst uitleggen. Vervolgens zal de proef uitgevoerd worden en wordt de leerlingen gevraagd de waarnemingen te benoemen en te verklaren. Dit sluit aan bij de vijfde richtlijn van (Goldberg et al., 2010). De leerlingen leren op deze manier redeneren en uitleggen zoals in het paper van Driver, Newton en Osborne (2000) wordt beschreven.

Een van de richtlijnen stelt dat interactie met andere leerlingen

¹De vier vuistregels voor het ontwerpen van context:

- 1 De leerlingen moeten de context herkennen en deze moet dicht bij hen staan.
- 2 De context heeft duidelijk te maken met natuurkunde/krachten.
- 3 Door de context krijgen de leerlingen de kans om een 'taal' over krachten te ontwikkelen.
- 4 De leerlingen kunnen verder bouwen op de aangereikte context.

het leren zal ondersteunen. Zoals onderschreven wordt door ervaringen van Crouch en Mazur (2001). Gebaseerd hierop zullen de leerlingen de laatste 15 tot 20 minuten van de les tijd en ruimte krijgen om met elkaar te overleggen en samen te werken. Om te bereiken dat alle leerlingen met de opdrachten bezig zijn wordt door de docent eerst stilte afgedwongen tot dat iedereen aan het werk is. Daarna wordt onderling overleg gestimuleerd. De les wordt door de docent afgesloten met een terugblik op de leerdoelen en/of vooruitblik op de volgende les.

3.4 Planning van de lessenserie

De lessenserie zal in totaal uit twaalf lesuren bestaan waaraan klas 3Ha (18 leerlingen) en 3Hc (20 leerlingen) zullen meedoen. In figuur 3.1 is de volgorde waarin de lessen plaatsvinden van boven naar beneden weergegeven. In de linker kolom staat de planning voor klas 3Ha, in de rechterkolom de planning voor klas 3Hc. De blauwe vlakken zijn de thema's, in de witte kaders staat het nummer van de les en het onderwerp dat behandeld zal worden.

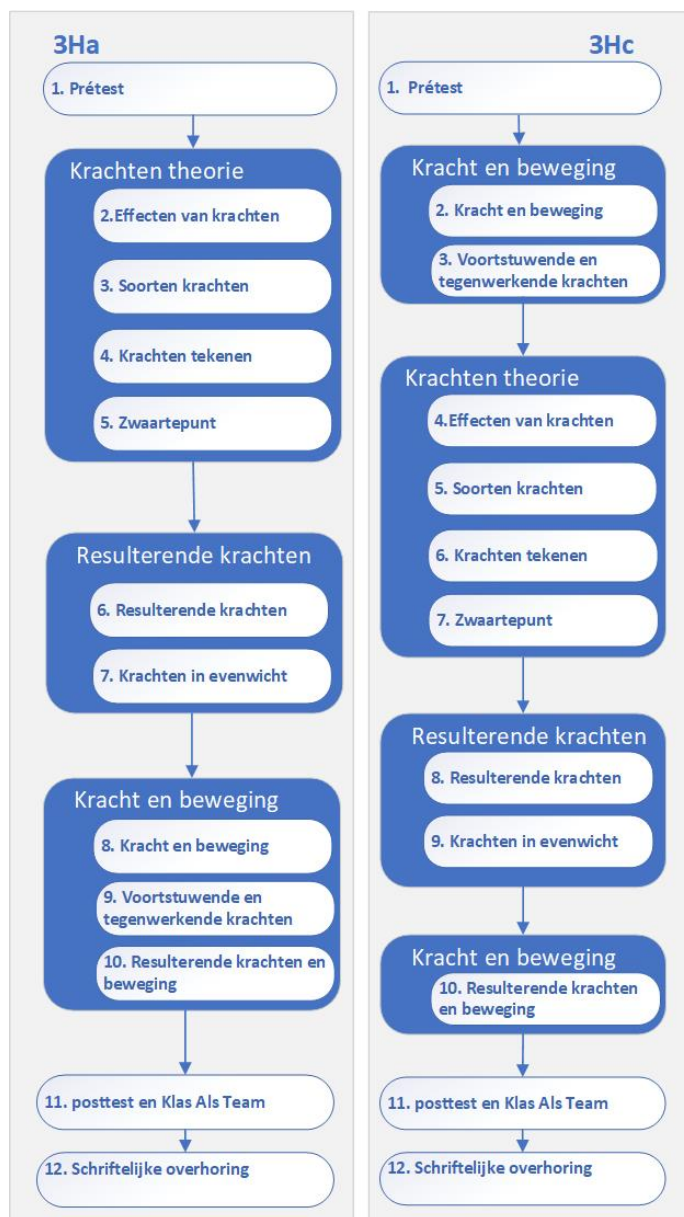
Beide klassen zullen starten met de pretest (voorkennistest) in les 1. In les 2 begint klas 3Ha met het thema 'Krachtentheorie,' vervolgens zal 'Resulterende krachten' behandeld worden en tot slot staat het thema 'Kracht en beweging' op het programma. Klas 3Hc zal starten met twee lessen over het thema 'Kracht en beweging,' vervolgens 'Krachtentheorie,' 'Resulterende krachten' en net als bij 3Ha zal afgesloten worden met de laatste paragraaf van 'Kracht en beweging.' Les 11 zal bestaan uit de posttest en een 'Klas Als Team-activiteit,' de invulling en het verloop van deze activiteit worden toegelicht in bijlage F. In les 12 zal de schriftelijke overhoring plaatsvinden, daarmee wordt het hoofdstuk formatief getoetst.

Bij de start van de lessenserie is de handleiding nog niet af. Er zal daarom gewerkt worden met snelhechters waaraan nieuwe onderdelen van het hoofdstuk toegevoegd kunnen worden. Daarnaast kunnen de leerlingen eigen uitwerkingen en aantekeningen toevoegen aan deze snelhechters.

3.5 Toetsing en analyse

De resultaten worden verkregen met twee formatieve testen: de 'pre-test' aan het begin van de lessenserie, de 'posttest' aan het einde en een formatieve test: de schriftelijke overhoring (hierna SO).

De pre- en posttest zijn meerkeuzetesten in de vorm van een quiz. De quiz wordt in een klassikale sessie digitaal met behulp van Kahoot² afgenomen. De vragen uit deze testen bestaan voor een deel uit vragen uit de Force Concept Inventory van Hestenes, Wells en Swackhammer (1992). De vraagstelling en antwoordmogelijkheden zijn aangepast om binnen de restricties van Kahoot te passen. Een ander deel van de vragen is naar eigen inzicht opgesteld. De vragen en antwoordmogelijkheden zijn weergegeven in bijlage C. Om te voorkomen dat de leerlingen in de posttest bepaalde antwoordmogelijkheden kiezen omdat zij deze herkennen uit de pretest, verschillen de



Figuur 3.1: Planning van de lessenserie. In de kolommen is van boven naar beneden te zien hoe de beide klassen de lessenserie doorlopen. Links is de planning van klas 3Ha te zien, rechts de planning van 3Hc. De blauwe vlakken representeren de thema's, in de witte kaders staan de nummers en onderwerpen van de lessen. In de lessen 1, 11 en 12 vinden testen plaats, deze zijn voor de beide klassen gelijk.

²<https://kahoot.com/>

meeste vragen en antwoordmogelijkheden uit de beide testen van elkaar.

De lessenserie wordt afgesloten met een schriftelijke overhoring. In deze toets wordt de kennis over krachten formeel beoordeeld. De vragen dienen om de reproductieve kennis, de rekenvaardigheden en het inzicht van de leerlingen in de lesstof te meten. Het SO is opgenomen in bijlage E.

3.6 Methode voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen

In de tekst hieronder wordt beschreven op welke manier de onderzoeksvragen beantwoord worden. Per deelvraag is het plan van aanpak beschreven.

3.6.1 Deelvraag 1: Wat zijn de resultaten?

De pre- en posttest bevatten net als het SO, per thema een aantal vragen die gebaseerd zijn op de leerdoelen die gedefinieerd zijn in hoofdstuk 2.2. De totale score zal voor de beide klassen bij ieder thema worden uitgerekend. Wanneer de gemiddelde score van een klas boven de helft van de punten ligt, wordt het thema als gehaald verondersteld. Dit is de norm die binnen de natuurkundesectie op het Vellesan College normaal gesproken gehanteerd wordt voor het herzien van een toets of verslag.

3.6.2 Deelvraag 2: Wat is het effect van de volgorde?

Zoals in figuur 3.1 te zien is, zal klas 3Ha de lessenserie in een andere volgorde doorlopen dan klas 3Hc. De resultaten van de beide klassen worden met elkaar vergeleken om te onderzoeken of volgorde effect heeft. Deze vergelijking zal worden gedaan op basis van een t-test die op basis van de resultaten per thema wordt uitgevoerd. De t-test wordt in bijlage A.4 toegelicht. Opgaven met opvallende verschillen zullen besproken worden.

3.6.3 Deelvraag 3: Welke misconcepten komen voor?

Aan het begin van het onderzoek is een literatuurstudie gedaan naar de misconcepten omtrent krachten. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage A.2. Een aantal vragen uit het SO en de pre- en posttest is specifiek ontworpen om bepaalde misconcepten uit de literatuurstudie te kunnen detecteren. Doordat de pre- en posttest meerkeuzetesten zijn, kan hiermee de aanwezigheid van de misconcepten kwantitatief beschreven worden.

Het SO bestaat grotendeels uit open vragen. De antwoorden van de leerlingen worden kwalitatief onderzocht op aanwezigheid van misconcepten. Daarnaast worden de antwoorden onderzocht op veel gemaakte fouten en/of misconcepten die niet in de literatuurstudie voorkomen. Aan het einde van de lessenserie zal een lijst met daarin de meest relevante misconcepten worden gepresenteerd.

Het ontwerp van de testen en de toets wordt per thema toegelicht in bijlage A.3. De vragen zijn hier gekoppeld aan de misconcepten die uit de literatuur bekend zijn.

Tijdens de 'Klas Als Team-activiteit' heeft de docent alle gelegenheid om mee te kijken en luisteren naar de manier waarop de leerlingen de opdrachten oplossen. Eventuele misconcepten of opvallende fouten die gedurende deze les worden opgemerkt, zullen meegenomen worden in dit onderzoek. Omdat er in een klas ongeveer zes tot twaalf teams meedoen, zal het niet mogelijk zijn om alles wat de leerlingen noemen mee te nemen in dit onderzoek.

3.6.4 Hoofdvraag: In welke mate wordt het niveau gehaald?

In dit onderzoek zal worden geanalyseerd of de krachtenhandleiding in staat is om de kennis van de leerlingen bij te spijkeren. De resultaten bij deelvraag 1 moeten aangeven of de voorgestelde lessenserie überhaupt doet wat deze moet doen: de kennis van de beide klassen naar het gewenste niveau brengen. De resultaten bij deelvraag 2 zullen uitwijzen of het mogelijk is om de lessenserie in verschillende volgorde te doorlopen. De resultaten bij deelvraag 3 zullen uitwijzen welke misconcepten er zijn. Deze afzonderlijke onderdelen worden gebundeld zodat een aanbeveling geschreven kan worden die tot verbetering van de lessenserie zal leiden. Op basis van de uitkomsten bij deelvraag 1 en 3 zullen wijzigingen met betrekking tot de inhoud van de lessenserie worden voorgesteld. Uit de resultaten bij deelvraag twee zal een advies volgen over de geschiktheid van de handleiding voor een skilltree.

3.7 Persoonlijke gegevens

Om de privacy en onafhankelijke beoordeling van de leerlingen te kunnen waarborgen is er een aantal maatregelen genomen. In overleg met de schoolleiding is er aan het begin van de lessenserie een brief naar de ouders en verzorgers gestuurd met daarin de vraag of de geanonimiseerde gegevens van de leerlingen mogen worden gebruikt voor het onderzoek. De brief is opgesteld volgens 'passive informed consent:' er is geen bezwaar geweest. Deze brief is te vinden in appendix B. Ook de leerlingen is mondeling gevraagd aan het einde van de lessenserie aan te geven wanneer de resultaten niet gebruikt dienen te worden.

Tijdens het nakijken van het SO zijn de opgaven van alle klassen met elkaar gemengd. Er is per opgave nagekeken, dat wil zeggen dat er geen onderscheid per klas kon worden gemaakt. De uitkomsten van de testen en het SO zijn eerst geanonimiseerd alvorens deze te gebruiken voor enige analyse.

Hoofdstuk 4

Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de beide klassen voor de pré- en posttest en de schriftelijke overhoring gegeven. Per thema worden de scores en antwoorden van de leerlingen besproken.

4.1 Uitkomsten van de toetsen

De resultaten van de testen en het SO zijn weergegeven in tabel 4.1. In de eerste kolom is het thema weergegeven, de tweede en derde kolom de resultaten bij de prétest, de derde en vierde kolom de resultaten bij de posttest en in de vierde en vijfde kolom de resultaten bij het SO. De totaalscores per onderwerp zijn uitgerekend en gedeeld door het maximale aantal punten dat per thema haalbaar is. Door dit te vermenigvuldigen met 100% is de somscore uitgedrukt in een percentage.

Krachtentheorie

In de pré- en posttest worden drie vragen gesteld bij het thema 'Krachtentheorie,' uit ieder paragraaf één vraag. De gemiddelde score in de pré-test is 76% voor 3Ha en 67% voor 3Hc. In de posttest is de gemiddelde score voor 3Ha toegenomen naar 79% en in 3Hc gelijk gebleven ten opzichte van de prétest.

In het SO zijn zes opdrachten over krachten theorie aan bod gekomen, twee over de effecten van krachten, één opgave over krachten herkennen, en drie opgaven over krachten tekenen. 3Ha behaalt hier een gemiddelde score van 56% In 3Hc is 53% van de vragen correct beantwoord.

Resulterende krachten

Er zijn drie vragen gesteld bij het thema 'resulterende krachten' in de pré- en posttest. Twee van de vragen hebben betrekking tot krachten in meerdere richtingen, de andere vraag gaat over reactiekrachten.

In de prétest beantwoordt klas 3Ha 65% van vragen correct ten opzichte van 44% van de vragen in 3Hc. In de posttest is dit 50% in 3Ha en 42% in 3Hc.

In het SO worden drie vragen gesteld over 'Resulterende krachten,' twee hiervan gaan over krachten langs dezelfde werklijn, de ander over de normaalkracht. In 3Ha wordt 61% van deze drie vragen correct beantwoord in 3Hc is dit 59%.

Kracht en beweging

Bij het thema 'Kracht en beweging' zijn er vijf vragen gesteld in de pré- en posttest. Twee vragen gaan over voortstuwende en tegenwerkende krachten en drie vragen gaan over de relatie

tussen krachten en beweging. Klas 3Ha behaalt gemiddeld 49% en 3Hc 57% van de punten op de pré-test. In de posttest is dit 53% voor 3Ha tegenover 33% van de punten in 3Hc.

Op het SO worden eveneens vijf vragen gesteld over kracht en beweging. Er is één vraag over het herkennen van voortstuwende en tegenwerkende krachten, twee vragen over het rekenen met de resulterende kracht, en in twee opdrachten geven de leerlingen het type beweging aan wanneer de resulterende kracht bekend is. De leerlingen uit 3Ha beantwoorden 55% van de vragen correct, de leerlingen in 3Hc 49% van de vragen.

Totale toets

De pré- en posttest bestaan ieder uit elf vragen. In de prétest is te zien dat de leerlingen uit 3Ha gemiddeld 61% van de vragen goed beantwoorden, in 3Hc is dit 59% van de vragen. In de posttest is de gemiddelde score in 3Ha gezakt naar 56% en in 3Hc naar 44%.

Het SO bestaat in totaal uit 21 vragen. Niet alle vragen zijn meegenomen in de score bij de thema's. Aan de resultaten is te zien dat de leerlingen in 3Ha gemiddeld 57% van de opgaven correct beantwoorden, in 3Hc is dit 55% van de opgaven.

4.2 Verschillen tussen de klassen

Klas 3Ha heeft de lessenserie in een andere volgorde doorlopen dan klas 3Hc. De resultaten van de beide klassen worden hier met elkaar vergeleken. Deze vergelijking wordt gedaan op basis van een onafhankelijke t-test. In de nulhypothese wordt aangenomen dat er geen verschil is tussen de gemiddelde scores van de beide klassen. De nulhypothese zal verworpen worden wanneer $p < 0.05$. De t-test gaat uit van normaal verdeelde resultaten met een vergelijkbare variantie.

Krachtentheorie

In tabel 4.2 worden de resultaten bij het thema 'Krachtentheorie' van de beide klassen voor de pré- en posttest en het SO weergegeven. In de eerste kolom staat welke test het betreft, de tweede kolom geeft het maximale aantal punten weer. De derde en vijfde kolom geven de sommatie van het gemiddelde score per klas. Kolom vier en zes geven de standaard deviatie bij deze score. In de laatste kolom staat de p-waarde die is gevonden bij deze test.

Aan de resultaten van de pré- en posttest is te zien dat de p-waarde boven $p = 0,05$ ligt. Dit geldt ook voor het SO waarbij de p-waarde $p = 0,79$ bedraagt.

Tabel 4.1: Totaalscores van de beide klassen voor de pré- en posttest en het SO. De scores zijn berekend per thema en voor de totale toets of test. De scores zijn uitgedrukt in een percentage door de totaalscore te delen door het maximaal aantal haalbare punten. Voor de prétest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C). Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. Aan het SO hebben in 3Ha $n = 18$ leerlingen deelgenomen en in 3Hc $n = 20$.

Gemiddelde score (%)	Pré 3Ha	Pré 3Hc	Post 3Ha	Post 3Hc	SO 3Ha	SO 3Hc
Krachtentheorie	76	67	79	67	56	53
Resulterende krachten	65	44	50	42	61	59
Kracht en beweging	49	57	53	33	55	49
Gehele toets	61	59	56	44	57	55

Tabel 4.2: Krachtentheorie Gemiddelde score (X), standaard deviatie (ds) en p -waarde van de vragen over 'Krachtentheorie.' Achter de omschrijving is tussen haakjes de maximale score per vraag weergegeven. Voor de prétest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C), in de posttest is dit $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. Voor het SO geldt $n = 18$ voor 3Ha en $n = 20$ voor 3Hc.

Theorie	max	X_A	ds_A	X_C	ds_C	p
prétest	3	2,29	0,77	2	0,67	0,23
posttest	3	2,38	0,72	2	0,82	0,18
SO	6	3,38	0,79	3,15	0,92	0,79

Resulterende krachten

De resultaten die horen bij de vragen over het thema 'Resulterende krachten' zijn te zien in tabel 4.3. In de resultaten is te zien dat de p -waarde bij de prétest $p = 0$ is. De p -waarde op de posttest en het SO is groter dan $p = 0,05$.

Tabel 4.3: Resulterende krachten Gemiddelde score (X), standaard deviatie (ds) en p -waarde van de vragen over 'Resulterende krachten.' Achter de omschrijving is tussen haakjes de maximale score per vraag weergegeven. Voor de prétest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C), in de posttest is dit $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. Voor het SO geldt $n = 18$ voor 3Ha en $n = 20$ voor 3Hc.

Resulterend	max	X_A	ds_A	X_C	ds_C	p
prétest	3	1,94	0,43	1,32	0,67	0,00
posttest	3	1,50	0,73	1,25	0,68	0,33
SO	3	1,83	0,61	1,77	0,77	0,77

Kracht en bewegen

In tabel 4.4 zijn de resultaten te zien bij de vragen uit de pré- en posttest die gaan over het thema 'kracht en beweging.' De p -waarde bij de prétest en het SO zijn groter dan $p = 0,05$. In de posttest is de p -waarde $p = 0,05$. **Eindresultaten**

In tabel 4.5 zijn de gemiddelde resultaten te zien van alle opgaven. De prétest laat een p -waarde zien van $p = 0,31$. In de posttest is deze waarde $p = 0,06$ en in het SO is deze $p = 0,60$.

Tabel 4.4: Kracht en bewegen Gemiddelde score (X), standaard deviatie (ds) en p -waarde van de vragen over 'Kracht en bewegen.' Achter de omschrijving is tussen haakjes de maximale score per vraag weergegeven. Voor de prétest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C), in de posttest is dit $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. Voor het SO geldt $n = 18$ voor 3Ha en $n = 20$ voor 3Hc.

Bewegen	max	X_A	ds_A	X_C	ds_C	p
prétest	5	2,47	0,717	2,84	0,958	0,20
posttest	5	2,63	1,5	1,63	1,204	0,05
SO	5	2,73	0,93	2,43	0,87	0,29

Tabel 4.5: Eindresultaten: Gemiddelde score(X), standaard deviatie (ds) en p -waarde van de vragen over kracht en bewegen. Achter de omschrijving is tussen haakjes de maximale score per vraag weergegeven. Voor de prétest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C), in de posttest is dit $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. Voor het SO geldt $n = 18$ voor 3Ha en $n = 20$ voor 3Hc.

Geheel	max	X_A	ds_A	X_C	ds_C	p
prétest	11	6,71	1,53	6,16	1,68	0,31
posttest	11	6,50	2,45	4,88	2,19	0,06
SO	21	11,98	2,23	11,53	2,87	0,60

4.3 Misconcepten

Op basis van de pré- en posttest is kwantitatief onderzocht welke van de vooraf geïnventariseerde misconcepten uit bijlage A.2 aanwezig zijn bij de leerlingen. In bijlage C zijn de vragen en antwoordmogelijkheden uit de pré- en posttest gegeven. Voor het detecteren van misconcepten zijn de resultaten van beide klassen samengevoegd. Van iedere vraag uit beide testen is het aantal stemmen per antwoordmogelijkheid uitgerekend en gedeeld door het aantal leerlingen. Wanneer een misconcept in meerdere vragen voorkomt dan wordt de score voor alle antwoordmogelijkheden opgeteld. Deze somscore wordt vervolgens gedeeld door het aantal vragen dat het misconcept bevat. Op deze manier wordt het aantal leerlingen dat voor een misconcept stemt in een percentage uitgedrukt.

In tabel 4.6 zijn de resultaten bij de pré- en posttest gegeven.

Tabel 4.6: Overzicht van de vooraf gedefinieerde misconcepten (kolom 1), bijbehorende antwoorden uit de pré- en posttest (kolom 2 en 5), somscores per misconcept (kolom 3 en 6) en de somscore uitgedrukt als percentage van het aantal vragen.

Misconcept	Prétest vraag nr:	Som prétest	X (%) prétest	Posttest vraag nr.	Som post-test	X(%) post-test
1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten.	1d, 8d, 7a,b,d	0,86	28,70	1d, 7a,b,d	0,44	21,88
1b, In een statische situatie is er geen reactiekracht	11a	0,19	19,44	2c, 11a	0,44	21,88
1c, doordat er contact is kan het effect van kracht worden waargenomen	1c	0,17	16,67	1c	0,00	0,00
1d, luchtweerstand is hetzelfde als windkracht	2b,9a	0,11	5,56			
2a, kracht wordt als een scalaire grootte beschouwd.	5b	0,06	5,56			
2c, de resulterende kracht is een compromis tussen alle krachten op een voorwerp	8a	0,00	0,00	8c	0,06	6,25
3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging.	3d, 4a,c, 6a,c	1,08	36,11	3c, 4a,c, 6a,c, 8b	1,63	40,63
3b, resulterende kracht en snelheid zijn evenredig	4d	0,28	27,78	4d	0,00	0,00
3d, er is een kracht nodig om omhoog te kunnen bewegen, maar niet voor omlaag.	6d	0,11	11,11	6d, 9b	0,53	26,56
3g, Massa gaat een beweging tegen	11:a,b	0,25	25,00	8a	0,44	43,75
3f, weerstandskrachten worden in de verkeerde richting gekozen.	9: a,d	0,06	5,56	9a,d	0,13	12,50

In de linkerkolom van de tabel is te zien welk misconcept het betreft. De tweede en vijfde kolom beschrijven welke antwoordmogelijkheden uit de pré- en posttest bij een bepaald misconcept horen. In de derde en zesde kolom zijn de somscores gegeven per misconcept. In de vierde en zevende kolom zijn deze in percentages uitgedrukt. In dit hoofdstuk worden de resultaten per thema toegelicht.

Krachtentheorie

De misconcepten die horen bij het thema 'Krachtentheorie' hebben de nummers '1a' tot en met '1g' en zijn weergegeven in tabel 4.6.

In de prétest is misconcept 1a, *kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten*, in drie opgaven verwerkt. Gemiddeld 29% van de leerlingen stemt in deze drie opgaven op een antwoordmogelijkheid die dit misconcept bevat. In de posttest is dit 22% van de leerlingen. In het SO is het benoemen van de spierkracht op een vallende bal (opgave 13a) een indicatie van dit misconcept. De spierkracht wordt door één leerling genoemd.

Misconcept 1b, *in een statische situatie is er geen reac-*

tiekracht, wordt onderzocht in één opgave van de prétest en twee opgaven van de posttest. In beide testen ligt het gemiddelde aantal leerlingen dat voor dit misconcept stemt rond de 20%. In het SO wordt onder andere bij het tekenen van de verticale krachten op een horizontaal bewegende doos (opgave 9) onderzocht of dit misconcept aanwezig is. Er zijn vijf leerlingen die alleen de zwaartekracht of normaalkracht niet als koppel tekenen. Bij het benoemen van de krachten op een stil hangende abseiler (opgave 11b), zijn er geen leerlingen die aangeven dat er geen kracht omhoog werkt.

In de prétest geeft 17% van de leerlingen aan dat *er krachten actief zijn wanneer objecten contact met elkaar hebben*, misconcept 1c. In de posttest stemt geen van de leerlingen op een antwoordmogelijkheid waarin dit misconcept is verwerkt. Bij het benoemen van de effecten van krachten in het SO (vraag 4) is er niemand die aangeeft dat contact tussen voorwerp kracht impliceert.

De aanwezigheid van *misconcept 1d, luchtweerstand is hetzelfde als windkracht*, wordt in twee vragen getest in de

prétest, maar niet in de posttest. 11% van de leerlingen stemt op een antwoordmogelijkheid met dit misconcept. In het SO komt het misconcept één maal voor wanneer de leerlingen de krachten op een vallende bal moeten beschrijven (opgave 13a). Bij de krachten op een stil hangende abseiler (opgave 11b) wordt maar liefst dertien keer de luchtweerstand genoemd.

Bij het tekenen van de spankracht op een slee (opgave 8), is in het SO bij één leerling waargenomen dat *de spankracht net zo lang werd als het touw, misconcept 1e*. In de opgave waarbij de krachten op een abseiler moeten worden benoemd (opgave 11b) zijn er 12 leerlingen die de spankracht benoemen.

Misconcept 1f, de snelheidsvector wordt gezien als een kracht, is nergens waargenomen. In geen van de opgaven hebben de leerlingen de snelheidsvector meegenomen in de berekeningen.

'Wanneer er geen actie is, werkt er geen kracht' *misconcept 1g*, is onder andere terug te vinden in het antwoord "Verandering van beweging" dat wordt gegeven wanneer de effecten van krachten worden gevraagd in opgave vier van het SO.

Resulterende krachten

De misconcepten die horen bij het thema 'Resulterende krachten' hebben de nummers '2a' tot '2c' en zijn weergegeven in tabel 4.6.

Misconcept 2a, kracht is een scalaire grootheid, krijgt in de prétest ongeveer 6% van de stemmen. In het SO noemen vier leerlingen de richting waarin de resulterende kracht werkt niet wanneer hier om gevraagd wordt.

Een bekend probleem is dat *leerlingen de resulterende krachten zien als een compromis tussen de krachten op een voorwerp, misconcept 2c*. In de pré- en posttest is dit getest middels een object dat met een horizontale snelheid beweegt en tegelijkertijd valt. De bijbehorende afbeeldingen zijn te zien in figuur D.2a en D.2b. Geen van de leerlingen in de prétest geeft dit misconcept aan. In de posttest stemt 6% van de leerlingen voor dit misconcept.

Misconcept 2b, leerlingen hebben moeite met de richting van de normaalkracht, wordt bij twee vragen in het SO getest. Veertien leerlingen kiezen bij het tekenen van een doos op een schuin oppervlak de richting van de normaalkracht verkeerd, daarnaast kiezen nog eens acht leerlingen het aangrijpingspunt verkeerd. Bij opgave 9 (een doos op een vlak oppervlak) tekenen 13 leerlingen het aangrijpingspunt van de normaalkracht in het zwaartepunt. Vijf leerlingen hebben moeite met de richting waarin de normaalkracht getekend moet worden. De normaalkracht wordt in een aantal opvallende situaties genoemd door de leerlingen, onder andere als tegenwerkende kracht op een vallende bal en als

reactiekracht op de stil hangende abseiler (dertien keer).

Kracht en bewegen

De misconcepten die horen bij het thema 'Kracht en bewegen' hebben de nummers '3a' tot en met '3f' en zijn weergegeven in tabel 4.6.

Misconcept 3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging, wordt in de pré- bij drie en in de posttest in vier opgaven onderzocht. In de prétest stemt gemiddeld 36% op een antwoordmogelijkheid dat dit misconcept bevat. In de posttest is dit 41% van de leerlingen. In het SO wordt de aanwezigheid van dit misconcept onderzocht in een opgave waarbij de resulterende kracht op een bal met constante snelheid gegeven moet worden (opdracht 13b). Dertien leerlingen geven aan dat de resulterende kracht groter dan 0N moet zijn. Bij de opgave met een remmende trein zijn er tien antwoorden te zien waarbij de beweging versneld in de beweegrichting wordt genoemd.

Misconcept 3b, resulterende kracht en snelheid zijn evenredig, wordt onderzocht in de beide testen (4d). In de prétest stemt 28% van de leerlingen voor dit misconcept. In de posttest krijgt dit misconcept geen stemmen.

Misconcept 3c, een resulterende kracht tegen de beweegrichting in leidt tot een beweging achteruit. Bij het aangeven van de beweegrichting van de afremmende trein (15c uit het SO) geeft geen van de leerlingen aan dat de trein tegen de beweegrichting in zal gaan bewegen.

In de prétest is met één (6) vraag getest of *misconcept 3d aanwezig is, er is geen kracht nodig voor een beweging naar beneden*. In de posttest is dit bij twee vragen getest (6 en 9). In de prétest stemt 11% van de leerlingen voor een antwoordmogelijkheid waarbij dit misconcept aan de orde komt, in de posttest is dit 27% van de leerlingen. In het SO noemen alle leerlingen een voortstuwende kracht bij een valbeweging.

Misconcept 3e, er zijn geen weerstandskrachten wanneer er geen beweging is. Bij het herkennen van de krachten op een abseiler (11b) zijn er zes van de 38 leerlingen die de glijweerstand of spierkracht opschrijven.

Om vast te kunnen stellen of *misconcept 3f aanwezig is, weerstandskrachten worden in de verkeerde richting verondersteld*, zijn in de beide testen en het SO vragen gesteld. In de prétest geven de leerlingen de tegenwerkende en voortstuwende krachten aan op een surfer en fietser. In de posttest wordt de rol van de zwaartekracht bij vliegen en skiën gevraagd. In de prétest kiest 6% van de leerlingen een weerstandskracht in de verkeerde richting, in de posttest gebeurt dit bij 12% van de leerlingen. Bij de tekenopgave (opgave 9) uit het SO zijn er twee (!) van de 38 leerlingen die

de richting en het aangrijpingspunt van de weerstandskrachten op de juiste manier tekenen. Bij het uitrekenen van de resulterende krachten op de binnen rijdende trein (15b) is te zien dat veel leerlingen één van beide weerstandskrachten als voortstuwend beschouwen.

Misconcept 3g, massa gaat beweging tegen, komt voor bij één opgave in de prétest en twee opgaven in de posttest. In de prétest krijgen de antwoorden bij dit misconcept 25% van de stemmen, in de posttest is dit 44% van de stemmen.

Misconcept 3h, weerstand en wrijving worden niet gezien als een kracht. Er wordt de leerlingen gevraagd de krachten op een bal te benoemen (13a): in twee gevallen wordt geen weerstandskraft omschreven of gegeven. Bij het uitrekenen van de resulterende kracht op dezelfde bal (13b) laten drie leerlingen de luchtweerstand weg, of geven deze als $0N$ aan in een berekening.

Hoofdstuk 5

Analyse

5.1 Verloop van de lessen

De beide 3 havo-klassen zijn klassen van gemengde samenstelling (jongens/meisjes). De leerlingen uit 3Ha hebben een goede werkhouding en zijn over het algemeen gemotiveerd. Aan het begin van het schooljaar is de docent duomentor van deze klas geweest. Voordat het krachtenhoofdstuk begon is de docent mentor geworden van een andere klas.

Klas 3Hc is een sportklas. Tijdens een klassikale uitleg doen de leerlingen goed mee, maar verder is de werkhouding slecht. De meeste lessen in deze klas zijn daarom docentgestuurd waarbij de leerlingen opletten en meeschrijven. De leerlingen zijn beter voor natuur- en scheikunde te motiveren dan voor andere vakken. In deze klas zit een aantal leerlingen dat vanaf het begin van het jaar niets gedaan heeft. Door lesuitval heeft 3Hc een lesuur extra gehad ten opzichte van 3Ha, deze les is gevuld met een practicum over de veerconstante.

5.1.1 Klas Als Team

Tijdens de 'Klas Als Team-activiteit' die beschreven is in bijlage F moeten de leerlingen met elkaar overleggen over de lesstof. De misconcepten die tijdens deze activiteit door waargenomen zijn, worden hier benoemd. De docent kon niet de gehele les bij iedere groep leerlingen meeluisteren. De misconcepten die hier worden genoemd geven daarom geen volledig beeld van alle misconcepten die aanwezig zijn.

Onder andere *misconcept 3a, er werkt altijd een resulterende kracht in de beweegrichting* is waargenomen. Daarnaast komt ook *misconcept 3d, er is geen kracht nodig voor een beweging naar beneden* voorbij. Ook geven de leerlingen aan dat er geen luchtweerstand op een bewegende bal werkt, omdat er geen sprake van 'wind' is, *misconcept 1d*. In veel gevallen wordt een 'spierkracht' op een bal die door de lucht vliegt getekend, wat duidt op een kracht die na verloop van tijd 'op' raakt, *misconcept 1a*.

Er zijn misconcepten voorbij gekomen die niet in dit onderzoek geclassificeerd zijn. Er is bijvoorbeeld genoemd dat er geen zwaartekracht op de bal werkt zolang deze omhoog beweegt, en de grootte van de zwaartekracht op de bal zou gedurende het traject veranderen. Deze misconcepten zijn onder andere terug te vinden in het werk van (Ferreira, 2014) en (McCloskey, 1983).

5.2 Validiteit van de testen

In de ruwe data is te zien dat niet alle leerlingen die aan de posttest zijn gestart, ook alle vragen hebben beantwoord. Omdat niet bekend is of dit komt doordat de leerlingen niet mee willen doen of dat ze de antwoorden niet weten, zijn alle leerlingen die aan de test begonnen zijn meegenomen in het leerlingen aantal (n). De resultaten op de posttest van 3Hc worden hierdoor beïnvloed.

Er is een t-test gebruikt om verschillen tussen de resultaten van de beide klassen in kaart te brengen. Een statistische 'Power' analyse ¹ wijst uit dat de grootte van de steekproef te klein is om een betrouwbare t-test uit te voeren. De verkregen p-waardes dienen daarom enkel als indicatie van mogelijke verschillen.

Een Kolmogorov-Smirnov test toont aan dat de data in alle gevallen normaal verdeeld is. Met behulp van Levenes test is aangetoond dat er geen significant verschil in variantie is, waardoor de t-test uit bijlage A.4 gebruikt mag worden. De beide testen zijn uitgevoerd volgens de omschrijving uit het boek van Field (2013).

5.3 Uitkomsten van de toetsen

De resultaten bij het onderwerp 'Krachtentheorie' van zowel de pre- en posttest als SO, liggen in beide klassen boven het gewenste niveau van gemiddeld 50% van de punten.

In tabel D.3 is te zien dat de onderwerpen 'effecten van krachten' en 'krachten tekenen' met een score boven de 50% zijn behaald. Het onderwerp 'krachten herkennen' is niet op het gewenste niveau behaald.

Bij het onderwerp 'Resulterende krachten' is 'krachten in meerdere richtingen' geen onderdeel geweest van de lessenserie. Hier worden wel vragen over gesteld in de pre- en posttest maar niet in het SO. De conclusies bij dit thema worden daarom enkel op het SO gebaseerd.

Aan de resultaten is te zien dat beide klassen boven het gewenste niveau scoren bij het SO. De resultaten per opgave, in tabel D.6, geven aan dat er bij het werken met de normaalkracht onder het gewenste niveau wordt gescoord in 3Hc.

Aan de resultaten bij de posttest is te zien dat de leerlingen in 3Ha het onderwerp 'Kracht en beweging' zowel op de

¹Hiervoor is de app 'Gpower' <http://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html> gebruikt.

posttest als op het SO met meer dan de helft van de punten afsluiten. De leerlingen in 3Hc scoren echter lager dan het gewenste niveau op het SO en de posttest. Wanneer de scores bij de vragen uit de posttest en het SO worden vergeleken valt op dat 3Hc over de gehele linie slechter scoort, het lijkt niet aan een specifiek onderwerp of opgave te liggen.

De gemiddelde score op de pretest van beide klassen ligt met 61% en 59% vlak bij elkaar. Dit geeft mogelijk aan dat de voorkennis van beide klassen vergelijkbaar is. Aan de resultaten van de posttest is te zien dat klas 3Hc minder dan de helft van de punten scoort. Zoals eerder aangegeven komt dit doordat een aantal leerlingen niet (serieus) heeft meegedaan.

De gemiddelde scores bij het gehele SO liggen met 57% en 55% boven het gewenste niveau. Hierbij moet opgemerkt worden dat niet alle vragen uit het SO binnen een thema zijn ingedeeld.

5.4 Verschillen tussen de klassen

De resultaten die waargenomen zijn bij het vergelijken met behulp van de t-test worden hier besproken. Er moet in acht worden genomen dat de steekproef te klein is om statistisch betrouwbare resultaten te geven.

De p-waarden bij het thema 'Krachtentheorie' liggen allen boven $p = 0,05$. Hiermee is er geen significant verschil in de resultaten.

Bij het thema 'Resulterende krachten' is de p-waarde: $p = 0$ bij de pretest. Deze p-waarde geeft een significant verschil tussen 3Ha en 3Hc aan. Dit zou kunnen wijzen op een verschil in voorkennis tussen de beide klassen. Op de posttest en het SO zijn de p-waarden hoger dan $p = 0,05$, er zijn geen significante verschillen tussen de resultaten.

De p-waarde bij de posttest van het thema 'kracht en bewegen' bedraagt precies $p = 0,05$. Dit impliceert een significant verschil tussen de gemiddelde scores van 3Ha en 3Hc. De oorzaak van dit verschil is zeer waarschijnlijk het aantal leerlingen dat in 3Hc niet heeft ingevuld bij de posttest.

Aan de eindresultaten bij de posttest is te zien dat de p-waarde $p = 0,06$ bedraagt. De reden voor deze lage p-waarde is waarschijnlijk het aantal leerlingen dat de posttest niet gemaakt heeft. Aan de p-waarde bij de pretest en het SO kan afgeleid worden dat er geen significante verschillen zijn bij de pretest en het SO.

5.5 Deelvraag 3: Misconcepten

De antwoorden van de leerlingen op de testen en het SO zijn onderzocht op misconcepten en veel voorkomende fouten. Met behulp van deze analyse moet een antwoord worden gegeven op *deelvraag 3: Welke misconcepten komen voor aan het begin en einde van de lessenserie*. De resultaten uit de pre- en posttest en het SO worden in dit hoofdstuk geanalyseerd.

5.5.1 Krachtentheorie

Misconcept 1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten, wordt in de 'Force Concept Inventory' van Hestenes et al. (1992) als één van de belangrijkste misconcepten genoemd. Volgens de verwachting komt dit misconcept zowel in de pretest als in de posttest voor. Het gemiddelde aantal leerlingen dat op een antwoordmogelijkheid met dit misconcept stemt is lager in de posttest. De posttest neemt dit misconcept in minder antwoordmogelijkheden mee dan de pretest, wat het verschil zou kunnen verklaren.

Dit misconcept wordt in het SO nauwelijks waargenomen. Dit ligt zeer waarschijnlijk aan de vraagstelling in het SO, deze geeft geen aanleiding om dit misconcept in de antwoorden te verwerken. Tijdens de 'Klas Als Team-activiteit' is het misconcept regelmatig waargenomen in de gesprekken tussen de leerlingen.

Ongeveer 20% van de leerlingen stemt in de pre- en posttest op antwoordmogelijkheden met *misconcept 1b, in een statische situatie is er geen reactiekracht*. In de 'Force Concept Inventory (FCI)' (Hestenes et al., 1992) komt dit misconcept in de pretest bij 3 – 7% van de antwoorden voor, in de posttest bij 0 – 2% van de antwoorden. In dit onderzoek zijn er meer antwoordmogelijkheden waarbij de leerlingen op dit misconcept kunnen stemmen, daarnaast verschilt de vraagstelling met de vraagstelling uit de 'FCI.' Dit zijn vermoedelijk de redenen dat dit misconcept vaker voorkomt in dit onderzoek.

In het SO komt het misconcept niet naar voren op de manier zoals van tevoren was voorspeld. Wel is te zien dat vijf leerlingen niet het krachtenkoppel zwaartekracht/normaalkracht tekenen (opgave 9) wanneer een doos zuiver horizontaal beweegt. Dit geeft aan dat de leerlingen niet in de gaten hebben dat er een normaalkracht nodig is om de doos op zijn plek te houden.

Vraag één uit de posttest gaat over het optreden van krachten bij een sprinter. De aanwezigheid van *Misconcept 1c, krachten kan je herkennen doordat er contact tussen voorwerpen is*, wordt hiermee onderzocht. De leerlingen beantwoorden deze vraag unaniem correct, in tegenstelling tot de pretest. De gewijzigde context speelt hier vermoedelijk een belangrijke rol in. In het SO was verwacht dat de leerlingen zouden aangeven dat contact een effect van kracht is (opgave 4) dit is echter niet voorgekomen.

In de pretest kiest 22% van de leerlingen de windkracht wanneer een parachutist in windstille situatie afdaalt. Dat 'windstil' wordt genoemd is voor deze leerlingen geen reden om de optie met windkracht niet te kiezen. Ook in het SO wordt de windkracht genoemd/verward met de luchtweerstand, zoals op de vallende bal. In de lessen moeten de leerlingen altijd de weerstandskrachten tekenen, om te voorkomen dat verwarring omtrent het weglaten van de weerstandskrachten optreedt zoals Ferreira (2014) beschrijft. Overigens wordt de

luchtweerstand genoemd in situaties waar geen sprake is van beweging, zoals de stilhangende abseiler.

Misconcept 1e, de spankracht moet net zo lang zijn als een touw, is in twee opgaven van het SO getest en één keer waargenomen. Twaalf van de 38 leerlingen zijn in staat om de spankracht op een abseiler te noemen.

Misconcept 1f, de snelheidsvector wordt als kracht verondersteld, is onderzocht in opgave 13 en 15 van het SO. In deze opgaven moeten de leerlingen zelf op zoek naar krachten voor het bepalen van de resulterende kracht. Geen van de leerlingen gebruikt de snelheidsvector in de berekening.

Wanneer er geen actie is werkt er ook geen kracht, 'misconcept 1g, wordt zoals verwacht éénmaal teruggevonden in het antwoord: "kracht kan je waarnemen door verandering van beweging" in het SO.

Wat verder opvalt bij de antwoorden van de leerlingen bij het onderwerp 'Krachtentheorie' bij het SO, is dat de leerlingen niet benoemen dat een opgelegde kracht weggenomen moet worden voordat de aard van een vervorming vastgesteld kan worden.

Daarnaast worden er veel fouten gemaakt bij vinden van het aangrijpingspunt van de krachten. Dit is in overeenstemming met de fouten die door de leerlingen worden gemaakt bij de interviews in het onderzoek van Hestenes et al. (1992).

5.5.2 Resulterende krachten

In de module is alleen gewerkt met krachten langs dezelfde werklijn, niet met krachten in verschillende richtingen. Opgave 5 en 8 uit de pre- en posttest kunnen daarom worden beschouwd als een soort pretest vragen bij het onderwerp resulterende krachten.

Ongeveer 5% van de leerlingen lijkt in de pretest *geen rekening te houden met de richting waarin een kracht werkt*, misconcept 2a. Afbeelding D.1a, de afbeelding die bij deze vraag gebruikt wordt, zou onduidelijkheid kunnen geven doordat de krachten van de man en jongen even groot zijn getekend. Daarom is tijdens de quiz expliciet benoemd door de docent dat de jongen minder sterk is dan de man. In het SO moeten de leerlingen de richting van de resulterende kracht op een voorwerp noemen. Dit zijn vier van de 38 leerlingen vergeten. Dit resultaat komt overeen met de resultaten uit de 'Force Concept Inventory' (Hestenes et al., 1992), waar de effectiviteit van de opgave ter discussie staat omdat meerdere misconcepten bij deze opgave kunnen leiden tot het geven van het juiste antwoord.

Ondanks dat er in de lessen geoefend is met het tekenen van de normaalkracht en zwaartekracht die werken op een object op een vlakke en schuine helling, is te zien dat er veel fouten gemaakt worden. Op basis van misconcept 2b, is

de verwachting dat er problemen zullen zijn met de richting waarin de normaalkracht werkt. Uit de resultaten blijkt dat nog veel vaker het aangrijpingspunt een probleem is.

Uit gesprekken met leerlingen blijkt dat de normaalkracht regelmatig als 'joker' wordt ingezet wanneer leerlingen een kracht niet kunnen benoemen.

Een fout die regelmatig voorkomt is dat de formule voor voortstuwende, tegenwerkende, en resulterende krachten vaak gebruikt wordt wanneer er geen sprake is van beweging. Dit leidt tot vreemde antwoorden van de leerlingen, wellicht is handiger om deze formule in het algemeen weg te laten.

5.5.3 Kracht en bewegen

Misconcept 3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging, komt in de pretest, posttest en het SO voor. In de pretest stemt 36% van de leerlingen voor een antwoordmogelijkheid die dit misconcept bevat, in de 'Force Concept Inventory' is dit 12-24% van de antwoorden. In de posttest stemt 40% van de leerlingen voor een antwoord met dit misconcept, in de 'FCI' is dit bij 15-29% van de antwoordmogelijkheden. Wat opvalt is dat zowel in dit onderzoek als in het onderzoek van Hestenes et al. (1992) het aantal stemmen voor dit misconcept in de posttest hoger is. In het SO valt op dat de leerlingen bij een bewegend object op vreemde manieren proberen om aan een resulterende kracht in de beweegrichting te komen.

In de posttest wordt bij misconcept 3b, kracht en snelheid zijn evenredig, een verkeerde antwoordmogelijkheid geboden. Het antwoord zou 80 km/h moeten zijn, maar er staat 8 m/s : het resultaat is dus niet betrouwbaar. Er kunnen geen conclusies worden getrokken op basis van deze resultaten.

Misconcept 3c, een resulterende kracht tegen de beweegrichting in leidt tot een beweging achteruit, is tegen de verwachtingen in niet voorgekomen in het SO.

Misconcept 3d, er is geen kracht nodig voor een beweging naar beneden, komt in de pretest met 11% van de stemmen en in de posttest met 27% van de stemmen voor. In het SO worden er tegen de verwachtingen in geen antwoorden gegeven die dit misconcept bevatten. In de 'Klas Als Team-activiteit' komt dit misconcept duidelijk aan de orde. Leerlingen noemen hier letterlijk de omschrijving van het misconcept.

Misconcept 3e, er zijn geen weerstandskrachten wanneer er geen beweging is, komt in het SO duidelijk voor. Er zijn maar zes leerlingen die de weerstandskrachten benoemen die werken op een abseiler in rust. Een kritische noot hierbij is dat de context, een abseiler, voor de meeste leerlingen ver buiten de beleavingswereld ligt. Hierdoor is het niet mogelijk een conclusie te trekken over de aanwezigheid van dit misconcept.

Misconcept 3f, weerstandskrachten worden in de ver-

keerde richting verondersteld, komt in overeenstemming met het onderzoek van van den Berg en Emmett (2007) bij het tekenen van krachten in het SO terug. Het kiezen van het juiste aangrijpingspunt en richting van de weerstandskrachten gaat bij twee van de 38 leerlingen goed. Bij het berekenen van de resulterende kracht (15b) is te zien dat een aantal leerlingen de rolweerstand als voortstuwende kracht verondersteld.

Wanneer een pakketje uit een vliegtuig met een horizontale snelheid valt, zal het direct tegen de beweegrichting in bewegen. Dit antwoord is een voorbeeld van *misconcept 3g, massa gaat een beweging tegen*. Dit misconcept komt met 44% van de stemmen voor in de posttest. Het aantal stemmen dat deze vraag krijgt in de posttest van de 'FCI' varieert van 15% tot 29%.

Tijdens de nabespreking van de quiz geeft een aantal leerlingen aan dat het probleem in de context zit: "Wanneer je op een filmpje een object uit een vliegtuig ziet vallen, beweegt het altijd achteruit ten opzichte van het vliegtuig." Een soortgelijke argumentatie van leerlingen wordt gegeven in de discussie bij de 'Force Concept Inventory' van (Hestenes et al., 1992).

Er zijn twee leerlingen die wel een voortstuwende, maar geen tegenwerkende kracht benoemen bij het beschrijven van de krachten op een vallende bal (13a). *Hiermee is misconcept 3h, weerstand/wrijving is geen kracht, vastgesteld*.

Een fout die regelmatig gemaakt wordt en daardoor opvalt is dat veel leerlingen bij het benoemen van het 'type beweging' termen als 'voortstuwende' en 'tegenwerkende' beweging noemen.

In deze analyse worden enkele resultaten vergeleken met de scores bij de 'Force Concept Inventory' van Hestenes et al. (1992). De antwoordmogelijkheden en het aantal antwoordmogelijkheden dat gebruikt is om het aantal stemmen per misconcept te berekenen kan verschillen tussen dit onderzoek en het onderzoek bij de 'FCI.' Daarnaast worden ook de resultaten van eerstejaars studenten aan de universiteit meegenomen in de 'FCI.' Uit het onderzoek van (Hestenes et al., 1992) wordt niet duidelijk of de leerlingen die hebben deelgenomen al eerder enig krachtenonderwijs hebben gevolgd.

Hoofdstuk 6

Conclusies

6.1 Uitkomsten van de toetsen

Met behulp van de uitkomsten die de klassen per thema hebben behaald, wordt een antwoord gegeven op *deelvraag 1: Wat zijn de resultaten van de leerlingen nadat zij de lessenserie gevolgd hebben.*

Op basis van de resultaten bij het thema 'Krachtentheorie' kan geconcludeerd worden dat de theoretische kennis op gewenst niveau is. Wel volgt uit de analyse dat het onderdeel 'krachten herkennen' niet behaald is. De resultaten die horen bij het onderwerp 'Resulterende krachten' laten zien dat beide klassen het SO boven de gewenste score van 50% van de punten, hebben afgerond. Het onderdeel 'normaalkracht' is niet behaald. Uit de toets- en testresultaten bij het onderwerp 'Kracht en bewegen' kan geconcludeerd worden dat klas 3Ha het onderwerp met een voldoende heeft afgesloten, klas 3Hc echter niet. De eindresultaten bij de pretest zijn in beide klassen boven het gewenste niveau van 50% van de punten. In de posttest kan worden vastgesteld dat 3Ha wel het gewenste niveau behaalt, 3Hc echter niet. In het SO behalen beide klassen met een score van 57% en 55% het gewenste niveau.

Op basis van de resultaten kan geconcludeerd worden dat de resultaten per thema voor beide klassen op het gewenste niveau zijn. Een uitzondering hierop is het thema 'kracht en bewegen' dat niet met een voldoende afgerond wordt in klas 3Hc.

6.2 Verschillen tussen de klassen

Op basis van de verschillen in de resultaten van beide klassen op de testen en het SO, kan een conclusie worden getrokken bij *deelvraag 2: Wat is het verschil in de resultaten van de klassen wanneer zij de lessenserie in een andere volgorde doorlopen hebben.* Het aantal leerlingen is te klein om met een t-test betrouwbare resultaten te geven. De conclusies die hier getrokken worden, dienen enkel ter indicatie van mogelijke verschillen.

Bij het onderwerp 'Krachtentheorie' geeft de t-test aan dat er geen significante verschillen zijn op de testen en het SO van de beide klassen.

Op basis van de resultaten van de posttest en het SO bij het thema 'resulterende krachten' kan worden vastgesteld dat er aan het einde van het hoofdstuk geen significante verschillen zijn tussen de beide klassen.

Bij het thema 'kracht en bewegen' zijn significante verschillen gemeten in de resultaten op de posttest. In de pretest en

het SO worden geen significante verschillen waargenomen. Het resultaat bij de posttest geeft aan dat klas 3Hc mogelijk zwakker is met betrekking tot het onderwerp 'kracht en beweging.'

Op basis van de eindresultaten kan worden vastgesteld dat er geen significante verschillen bij de pretest en het SO zijn. De posttest geeft twijfelachtige resultaten.

Op basis van alleen de SO-resultaten kan geconcludeerd kunnen worden dat de volgorde waarin de lessenserie doorlopen wordt, niet uitmaakt.

6.3 Misconcepten

De misconcepten die voorkomen zijn in dit hoofdstuk gegroepeerd op het aantal stemmen dat een misconcept krijgt. Wanneer het percentage stemmen groter is dan 20% wordt het misconcept beschouwd als 'veel voorkomend.' Daarnaast is er een groep misconcepten die minder voorkomen. Tot slot is er een categorie van misconcepten die niet (meer) voorkomen.

6.3.1 Krachtentheorie

Veel voorkomende misconcepten

Misconcept 1a, kracht is een eigenschap die een voorwerp kan bevatten, komt aan het begin van de lessenserie met 30% van de stemmen en aan het einde van de lessenserie met 20% van de stemmen voor. In de 'Klas Als Team-activiteit' komt dit misconcept voor.

'In een statische situatie is er geen reactiekracht,' misconcept 1b, krijgt in de beide testen 20% van de stemmen. Ook in het SO wordt dit misconcept waargenomen.

Omtrent luchtweerstand en windkracht lijken er nogal wat problemen te zijn. *Misconcept 1d, luchtweerstand is hetzelfde als windkracht* wordt in 20% van de antwoordmogelijkheden uit de pretest waargenomen.

Misconcepten die weinig voorkomen

Misconcept 1e, de lengte van de pijl die hoort bij de spankracht is net zo lang als het touw wordt waargenomen. Dit is echter bij één leerling geweest. Wel kan geconcludeerd worden dat veel leerlingen moeite hebben met het herkennen van de spankracht.

'Wanneer er geen actie is werkt er ook geen kracht,' misconcept 1g, wordt éénmaal waargenomen

Misconcepten die niet (meer) voorkomen

Misconcept 1c, krachten kan je herkennen doordat er contact tussen voorwerpen is, wordt waargenomen in de pretest, maar

niet in de posttest en het SO.

Misconcept 1f, de snelheidsvector wordt als kracht verondersteld, komt in de antwoorden van de leerlingen niet voor.

6.3.2 Resulterende krachten

Veel voorkomende misconcepten

In het SO worden veel fouten gemaakt met de richting en het aangrijpingspunt bij het tekenen van de normaalkracht, misconcept 2b.

Misconcepten die weinig voorkomen

In de pretest stemt 6% van de leerlingen op een antwoord dat *misconcept 2a, een kracht heeft geen richting*, bevat. Ook in het SO wordt dit misconcept maar bij een klein aantal leerlingen vastgesteld.

Resulterende kracht is een compromis tussen de krachten, *misconcept 2c*, wordt gekozen door 6% van de leerlingen in de posttest.

6.3.3 Kracht en beweging

Veel voorkomende misconcepten

Misconcept 3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging, komt met 40% van de stemmen in de testen voor bij de leerlingen. Daarnaast is in het SO te zien dat er fouten worden gemaakt waarbij dit misconcept een rol speelt.

Misconcept 3d, er is geen kracht nodig voor een beweging naar beneden, is met 27% van de stemmen in de posttest duidelijk aanwezig. Ook in de 'Klas Als Team-activiteit' komt dit misconcept duidelijk naar voren.

Misconcept 3f, weerstandskrachten worden in de verkeerde richting verondersteld, wordt vaker waargenomen. In het SO is te zien dat 95% van de leerlingen weerstandskrachten op de verkeerde manier tekent of weglaat. Bij berekeningen zijn er veel leerlingen die fouten maken met betrekking tot dit misconcept.

Misconcept 3g, massa gaat beweging tegen, lijkt met 44% van de stemmen in de posttest duidelijk aanwezig te zijn.

Misconcepten die weinig voorkomen

Misconcept 3h, wrijving/weerstand is geen kracht, komt voor wanneer de leerlingen de resulterende kracht in de beweegrichting moeten berekenen. De weerstandskrachten worden in dat geval weggelaten om een resulterende kracht groter dan 0N in de beweegrichting te krijgen.

Misconcepten die niet meer voorkomen

In het SO wordt door geen van de leerlingen *misconcept 3c, een resulterende kracht tegen de beweegrichting in leidt tot een beweging achteruit*, aangehaald.

6.3.4 Veel voorkomende fouten

Bij het nakijken van het SO zijn er een aantal veel voorkomende fouten in kaart gebracht. Zo hebben de leerlingen bij het thema 'Krachtentheorie' moeite met het herkennen van krachten en het vinden van aangrijpingspunten. De normering

van het SO is aangepast omdat het merendeel van de leerlingen niet benoemt dat een opgelegde kracht weggenomen moet worden voordat de aard van een vervorming vastgesteld kan worden.

De formules voor voortstuwende, tegenwerkende en resulterende kracht wordt regelmatig in een statische situatie ingezet. De leerlingen kunnen vervolgens de voortstuwende en tegenwerkende krachten niet vinden en lopen hierdoor punten mis.

Met antwoorden als 'voortstuwende' en 'tegenwerkende' beweging lijkt het alsof de leerlingen de terminologie niet beheersen of de achterliggende typen beweging niet kennen/snappen.

6.4 Hoofdvraag

De hoofdvraag van het onderzoek luidt: **In welke mate kan een lessenserie met handleiding de kennis naar het gewenste niveau krijgen?** Op basis van de gebruikte methode, resultaten en de conclusies die gesteld zijn bij de deelvragen zal per thema een antwoord op de hoofdvraag geformuleerd worden.

Krachtentheorie

Aan het einde van de lessenserie kan geconcludeerd worden dat de resultaten van de leerlingen bij het thema 'Krachtentheorie' op het gewenste niveau zijn. Er zijn geen aanwijzingen dat er verschillen zijn in de prestaties van de beide klassen bij dit thema. Aan de resultaten per onderwerp is te zien dat het niveau van de leerlingen bij 'effecten van krachten' en 'krachten tekenen' voldoende is. Bij het onderwerp 'krachten herkennen' presteren de leerlingen onvoldoende.

Een aantal misconcepten dat gevonden wordt sluit aan bij het feit dat de leerlingen het krachten herkennen niet lijken te beheersen. Zo komen vaak fouten voor met het verschil tussen de luchtweerstand en windkracht. Ook de misconcepten 'kracht is een eigenschap die een voorwerp kan bevatten' en 'in een statische situatie is er geen reactiekracht' verdienen aandacht in een volgende versie van deze lessenserie.

Resulterende krachten

Het thema 'Resulterende krachten' is door de leerlingen in beide klassen op het gewenste niveau afgerond. Er zijn geen verschillen tussen de klassen in de eindresultaten. De (onbetrouwbare) t-test geeft aan dat er wellicht een verschil in voorkennis is geweest met betrekking tot dit thema. De met betrekking tot de normaalkracht komen het meeste voor.

Kracht en bewegen

Klas 3Ha heeft beide testen en het SO op gewenst niveau afgesloten wanneer het over het onderwerp 'kracht en bewegen' gaat. In klas 3Hc is het gewenste niveau bij dit thema niet gehaald. Er zijn verschillende verklaringen voor het feit dat de leerlingen in 3Hc lager scoren bij dit thema: zo stonden er in deze klas enkele fouten in de handleiding wanneer zij met dit onderwerp gestart zijn, deze zijn hersteld voordat klas 3Ha hieraan begonnen is. Een andere verklaring is dat de werkhouding van de leerlingen in 3Hc niet zo goed is als bij

de leerlingen uit 3Ha. Ook zou kan het verschil in volgorde van de handleiding effect kunnen hebben op het resultaat van 3Hc.

De belangrijkste misconcepten die waargenomen zijn, hebben te maken met het feit dat de leerlingen een resulterende kracht veronderstellen in de beweegrichting. Daarnaast worden weerstandskrachten met de beweegrichting mee gekozen. Veel fouten worden gemaakt doordat de leerlingen de terminologie over de typen beweging niet goed beheersen.

6.5 Bruikbaarheid van de lessenserie

In dit onderdeel van de conclusie wordt teruggekeken op het ontwerpproces van de lessenserie en de bruikbaarheid in de toekomst.

Ontwerpprincipes In de methode is gesteld dat de lessenserie volgens de vijf richtlijnen van (Goldberg et al., 2010) ontworpen zou worden. In iedere les is met de voorkennis begonnen, zijn de leerdoelen aangekondigd en de gemaakte opgaven besproken. De toetsen en testen zijn ontworpen aan de hand van de misconcepten die van tevoren gegeven zijn in hoofdstuk 2.2. De handleiding is volgens de theorie van (Bowen, 2017) 'reversed' ontworpen. De opgaven zijn grotendeels opgebouwd volgens de theorie van 'Bloom.' Wel mist bij een aantal paragrafen het niveau 'onthouden' uit de taxonomie. In de meeste lessen hebben demonstratieproeven en/of leerling practica plaatsgevonden. Hierbij is altijd de 'Predict-observe-explain-methode' gebruikt (Gunstone & White, 1981). In de meeste lessen hebben de leerlingen tijd gehad om aan de opgaven te werken. Er is niet in iedere les gelegenheid geweest voor de leerlingen om te overleggen en samen te werken, om de orde in het lokaal te bewaren zijn er weleens momenten van 'stille' geweest. De methode van (Crouch & Mazur, 2001) is niet ingezet zoals deze bedoelt is geweest¹.

Samenhang tussen de lessen, handleiding en resultaten Gedurende de lessenserie is de inhoud van de handleiding de leidraad geweest voor de lessen. Aan het einde van de lessenserie gaf 70% van de leerlingen in een enquête aan liever met de handleiding te werken dan met het tekstboek op de iPad. Een aantal leerlingen heeft de gehele module zelfstandig uit de handleiding gewerkt, dit ging vrijwel probleemloos. Wel bevat de handleiding een aantal 'kinderziekten,' zo zijn enkele opgaven op de verkeerde plek in de handleiding terecht gekomen, deze fouten zijn gedurende de module weggewerkt.

Een tekortkoming van de lessenserie is dat er te weinig aandacht wordt besteed aan 'krachten herkennen,' en herkennen van aangrijpingspunt en richting van de krachten. Dit is duidelijk terug te zien in de tegenvallende resultaten bij dit ontwerp. De leerlingen in 3Ha hebben voor de toets aangegeven moeite te hebben met het herkennen van de aangrijpingspunten en richting van de krachten. Wat verder opvalt zijn de slechte resultaten bij het onderdeel over weerstandskrachten.

¹De methode van Mazur werd pas duidelijk na het zien van dit filmpje <http://tiny.cc/EricMazur2019VU>, dit zal zeker worden ingezet in de toekomst!

In de lessen is hiervoor uitgebreid de tijd genomen en er zijn demonstratie proeven en practica met de leerlingen uitgevoerd.

Samenhang Resultaten en verwachtingen Aan het begin was de verwachting dat de lessenserie de leerlingen op het gewenste niveau zou brengen. Wel zijn er twijfels geweest over de inzet van de leerlingen in klas 3Hc. De resultaten geven aan dat de lessenserie in staat is geweest om de leerlingen van beide klassen op het gewenste niveau te krijgen bij de schriftelijke overhoring.

Aan het begin van het onderzoek is een nulhypothese geformuleerd waarbij de verwachting was dat de gemiddelde scores van de beide klassen niet verschillen. Op basis van de resultaten bij het SO blijkt de nulhypothese te kloppen. Dit geeft aan dat de volgorde waarin de handleiding doorlopen wordt geen negatief effect op de resultaten heeft.

Van de misconcepten die aan het begin van het onderzoek zijn geformuleerd, in bijlage A.2 komt een aantal, zoals verwacht, zeer duidelijk terug in de resultaten. Een aantal misconcepten is, tegen de verwachting in, niet of nauwelijks aangetroffen. Dit is opvallend aangezien er geen nadruk is gelegd op het voorkomen van misconcepten. Overigens zijn de meeste misconcepten wel als zodanig besproken in de lessen.

Is het onderwijsprobleem opgelost? Het probleem in de voorgaande jaren was dat de leerlingen geen goede leidraad hebben wanneer de kennis over krachten wordt bijgespijkerd. Aan de hand van de toetsresultaten en de ervaringen met de handleiding kan worden vastgesteld dat het onderwijs probleem is opgelost. Bij het hoofdstuk werktuigen bleek dat de leerlingen in staat zijn om krachten op schaal te tekenen met het juiste aangrijpingspunt en in de juiste richting. De paragrafen over ontbinden en samenstellen van krachten zijn soepel doorlopen zonder dat het nodig was om de kennis over krachten te herhalen. Wel ontbrak kennis over reactiekrachten bij het hoofdstuk werktuigen. Bij het ontwerp van de lessenserie was niet voorzien dat de leerlingen dit nodig zouden hebben. In een herziene versie zou dit eventueel toegevoegd kunnen worden aan het tweede thema.

Is de methode praktisch bruikbaar? Gedurende de lessenserie is de handleiding toegepast in de praktijk en bruikbaar gebleken. Het feit dat een aantal leerlingen zelfstandig door de handleiding heen is gelopen bevestigt dit. De handleiding kan goed gebruikt worden als leidraad voor een docent om lessen op te baseren.

Wel zijn er een aantal updates nodig, zo zijn er opgaven en uitleg die aangepast moeten worden. Vanzelfsprekend zullen de afbeeldingen en 'geleende' opgaven vervangen moeten worden door opgaven die 'plagiaatvrij' zijn. Ook zullen aan ieder paragraaf opgaven toegevoegd moeten worden op het 'onthouden' niveau van 'Bloom.' Zoals in de vorige alinea beschreven, zijn er wellicht extra onderwerpen die toegevoegd kunnen worden. Wanneer de handleiding voor een skilltree gebruikt gaat worden zijn er op basis van dit onderzoek twee mogelijke routes, deze zijn gegeven in bijlage H. Hieraan zijn een hoofdstuk over reactiekrachten en een verdiepende les over de derde wet van

Newton toegevoegd.

Kan deze ingreep voortgezet worden in volgende jaren?

De handleiding biedt de leerlingen structuur bij het bijspijkeren van de kennis over krachten. Een herziene versie van de handleiding kan zeker in volgende jaren ingezet worden in 3 havo. De handleiding kan in dat geval ook als boekje geprint worden zodat onduidelijkheid in verband met de snelhechters niet mee aan de orde is. Er wordt verwacht dat iedere docent de handleiding als leidraad van een lessenserie over krachten kan gebruiken.

Hoofdstuk 7

Discussie

7.1 Resultaten bij de toetsen

Het gewenste niveau is in het huidige onderzoek per thema vastgesteld. De leerdoelen zijn in zoverre gespecificeerd dat de resultaten ook per leerdoel onderzocht zouden kunnen worden. Hierdoor kan meer in detail naar de problemen rondom de lessenserie/handleiding worden gekeken.

Bij het ontwerp van de lessenserie is ervanuit gegaan dat één les 'krachten herkennen' en twee lessen 'krachten tekenen' voldoende zouden zijn. De resultaten bij het ontwerp 'krachten herkennen' zijn echter onvoldoende. Ook bij het tekenen van de normaalkracht en weerstandskrachten treden er veel problemen op. Extra aandacht los van de module, bijvoorbeeld in 'Fast feedback-sessies' of in een practicum zou kunnen helpen. Een andere optie is om een paragraaf 'Eigenschappen van krachten' aan de lessenserie toe te voegen. Deze paragraaf zal dan betere connectie tussen de aangrijpingspunten, richting en soorten krachten leggen.

Het onderwerp 'krachten herkennen' komt met slechts één vraag terug in de toets. De context van deze vraag is niet bekend bij de leerlingen, dit leidt tot slechte resultaten bij deze vraag. Dit onderdeel zal met meer vragen getoetst moeten worden in het SO.

Aan het begin van het onderzoek is er rekening mee gehouden dat het onderwerp 'Krachten in meerdere richtingen' opgenomen zou kunnen worden in de handleiding omdat dit een geschiktere plek is dan in het hoofdstuk werktuigen. Daarom bevatten de pre- en posttest vragen over 'Krachten in verschillende richtingen.' In het vervolgonderzoek kunnen deze beter vervangen worden door onderwerpen die in de handleiding aan bod komen.

Klas 3Hc scoort beneden het gewenste niveau bij het onderwerp 'kracht en bewegen,' het is niet aan te geven of dit ligt aan de werkhouding van de klas, kinderziektes in de handleiding of de volgorde waarin het hoofdstuk doorlopen is. Van tevoren was de verwachting dat de leerlingen geen moeite zouden hebben met de verschillende soorten beweging, omdat het onderwerp 'bewegen' voorafgaand aan de lessenserie is behandeld. In de lessen is gebleken dat de leerlingen vrijwel niets meer weten over bewegen. Hier komen zeer waarschijnlijk ook de fouten vandaan bij het benoemen van de soorten beweging. Het is aan te raden om in een vervolg op deze lessenserie de soorten beweging te herhalen en te oefenen.

De vragen en antwoordmogelijkheden uit de pre- en posttest zijn in dit onderzoek verschillend van elkaar gekozen om te voorkomen dat de leerlingen vragen en antwoordmogelijkheden herkennen. In dit onderzoek verschillen de vragen tussen de pre- en posttest ook in context en moeilijkheidsgraad. Een voorbeeld hiervan is vraag 1, waarbij de effecten van krachten aangegeven moeten worden: de leerlingen vinden het minder lastig om de effecten van krachten op een sprinter aan te geven (posttest) dan de effecten van krachten op een hockeypuck (pretest). Een gevolg hiervan is dat de pre- en posttest niet op een eerlijke manier te vergelijken zijn.

In een vervolgonderzoek is het aan te raden om de pre- en posttest hetzelfde te kiezen. Doordat er geen verschillen zullen zijn in vraagstelling en moeilijkheidsgraad kunnen de pre- en posttest op een eerlijke manier worden vergeleken. Dit geeft ook de mogelijkheid om met behulp van een afhankelijke t-test per leerling te onderzoeken of er een verschil in resultaten is tussen de pre- en posttest. Wanneer genoeg leerlingen aan de beide testen deelnemen kunnen de resultaten aantonen of er een significante verbetering is in de resultaten.

7.2 Effect van de volgorde

Het aantal leerlingen dat aan dit onderzoek heeft deelgenomen is te klein geweest om een significant verschil aan te tonen. In een vervolgonderzoek zal met een grotere steekproef gewerkt moeten worden om statistisch significante resultaten te krijgen.

Er is een verschil in werkhouding tussen de klassen 3Ha en 3Hc. Daarom meet de vergelijking die de t-test maakt niet alleen het effect van de volgorde waarin de lessenserie doorlopen wordt. Dit probleem kan worden voorkomen door in het vervolgonderzoek de tijd die de leerlingen effectief besteden aan de lesstof en opgaven bij te houden en mee te nemen in de analyse.

De pre- en posttest zijn afgenomen met kahoot. Dit programma bepaalt ook de tijd die de leerlingen nodig hebben om een vraag te beantwoorden. Door dit in het vervolgonderzoek mee te nemen kan wellicht extra informatie verkregen worden uit de pre- en posttest.

Zoals in dit onderzoek te zien is, zetten de leerlingen zich niet altijd even goed in voor een activiteit als een 'Kahoot.' In het vervolgonderzoek zal dit tijdig geregistreerd moeten worden, zodat de leerlingen naar de motivatie gevraagd kan worden.

Bij het onderwerp 'Resultierende krachten' is in de pre-test een significant verschil tussen de voorkennis van de leerlingen in 3Hc en 3Ha gevonden. Dit verschil is niet betrouwbaar, maar wel interessant om te onderzoeken. In een vervolgonderzoek is het wellicht handig om bij een significant verschil in voorkennis direct door middel van een extra test of interviews te onderzoeken waar dit vandaan komt.

Klas 3Hc presteert slechter bij het thema 'Kracht en bewegen.' Het is onduidelijk of dit ligt aan de volgorde waarin zij de lessenserie hebben doorlopen of de werkhouding en inzet van de leerlingen. Wanneer een nieuwe klas de lessenserie in deze volgorde zal doorlopen, verdient het aanbeveling om extra goed in de gaten te houden hoe de inzet en voortgang van de leerlingen is.

7.3 Welke misconcepten zijn er?

Doordat de vragen en antwoordmogelijkheden uit de pre- en posttest verschillend zijn, komen niet alle misconcepten in beide testen terug. Om te kunnen onderzoeken of de lessenserie bijdraagt aan het wegwerken van misconcepten verdient het aanbeveling om in een vervolgonderzoek de vragen in de pre- en posttest hetzelfde te houden. Per misconcept kan dan onderzocht worden of deze in de posttest significant meer of minder voorkomen.

Omdat de Kahoot quiz niet te lang mag zijn, is er een aantal misconcepten dat in één antwoordmogelijkheid getoetst is. Het is aan te raden om de misconcepten beter te verdelen over de testen zodat een eerlijker beeld verkregen wordt. Daarnaast zijn er meer misconcepten die niet meegenomen zijn in dit onderzoek. De testen zouden dus uitgebreid kunnen worden met meer misconcepten.

Een aantal leerlingen geeft tijdens gesprekken aan, dat sommige misconcepten voorkomen omdat zij geen alternatieve verklaring kennen. Een voorbeeld hiervan is 'misconcept 1a, kracht is een eigenschap die een voorwerp mee krijgt.' Er wordt door de leerlingen aangegeven dat er een spierkracht op de bal werkt zolang deze omhoog beweegt. Dit noemen zij omdat het concept 'impuls' niet bekend is en dus ook geen verklaring voor beweging van de bal is. In een vervolgonderzoek is het nuttig om van te voren te kijken welke misconcepten redelijkerwijs gedurende de module aangepakt kunnen worden en alleen deze misconcepten mee te nemen in de testen.

Bij de 'Klas Als Team-activiteit' vloog letterlijk het ene na het andere misconcept door het lokaal. Daarnaast proberen de leerlingen elkaar continu te corrigeren. Door met voldoende docenten of andere experts de 'Klas Als Team-activiteit' bij te wonen, kan meer informatie omtrent de misconcepten worden gewonnen.

Op basis van het verloop en resultaten van deze lessen-

serie wordt aangeraden om in een volgende lessenserie rekening te houden met de volgende misconcepten en veel voorkomende fouten:

- 1b: In een statische situatie is er geen reactiekracht.
- 1d: Luchtweerstand en windkracht zijn hetzelfde.
- De richting en het aangrijpingspunt van weerstandskrachten wordt verkeerd gekozen.
- 2b: De richting waarin de normaalkracht werkt wordt vaak verkeerd gekozen.
- Het aangrijpingspunt van de normaalkracht wordt verkeerd gekozen.
- 3a: Er is geen beweging is bij evenwicht van krachten.
- 3d: Er is geen kracht nodig voor een beweging omlaag.
- 3e: Leerlingen spreken alleen overrijving/weerstandskrachten wanneer een object aan het bewegen is.
- De leerlingen noemen 'voortstuwende' en tegenwerkende' beweging in plaats van versnelde en vertraagde beweging.

Omdat de methode werkt met de formule voor voortstuwende, tegenwerkende en resulterende kracht is deze opgenomen in de module. De leerlingen raken echter vaak in de war of gebruiken deze formule in een statische situatie. Het is wellicht handiger om deze formule weg te laten en te beginnen met het opstellen van een krachtenbalans afhankelijk van de richting waarin krachten werken.

7.4 Hoofdvraag

Samenvattend moet er in een volgende lessenserie meer aandacht naar het herkennen van krachten en de eigenschappen hiervan. Daarnaast is er enige voorzichtigheid geboden voor de groep die met 'Kracht en beweging' begint, gezien de lage scores in 3Hc.

Op enkele foutief geplaatste opgaven na, waren er weinig problemen met de volgorde waarin de lessenserie is doorlopen. Op basis van het verloop van de lessenserie is deze zeer waarschijnlijk geschikt voor een skilltree.

Wanneer er een vervolgonderzoek plaatsvindt, zullen hier genoeg leerlingen aan mee moeten doen om statistisch significante resultaten te boeken. Daarnaast moeten de pre- en posttest hetzelfde worden gehouden om te kunnen meten of de leerlingen daadwerkelijk vooruitgang hebben geboekt.

Uitbreiding van de module In het hoofdstuk 'werktuigen' ontbreekt er kennis over reactiekrachten. Dit zou een goede toevoeging aan de handleiding kunnen zijn. Daarnaast behandelt de methode wel het zwaartepunt, dit zou uit de handleiding weggelaten kunnen worden.

Een paragraaf over de derde wet van Newton zit in het vwo-boek, wellicht is dit een geschikt hoofdstuk om als verdieping aan de skilltree toe te voegen.

Toelichting bij de methode

A.1 Leerdoelen voor 'Overal Natuurkunde'

In het hoofdstuk over *bewegen* worden onder andere diagrammen van een beweging, snelheid en versnelling behandeld. De methode werkt vanuit een 'spiraalvormige' context Wilson et al. (2015) waarbij verkeer centraal staat, en haalt de benodigde theorie aan om vraagstukken uit steeds dezelfde context op te kunnen lossen. In dit hoofdstuk moeten de leerlingen kunnen aangeven of een voertuig versneld, vertraagd of met een constante snelheid beweegt wanneer de resulterende kracht bekend is of vice versa. Daarnaast moeten de leerlingen in staat zijn om voortstuwende en tegenwerkende krachten te herkennen, benoemen en berekenen.

In het hoofdstuk over *werktuigen* zullen de leerlingen aan de gang gaan met hefboomen, overbrengingen en katrollen. Hiervoor moeten de leerlingen krachten kunnen herkennen, tekenen en de zwaartekracht kunnen berekenen. In het tweede deel van het hoofdstuk over werktuigen zullen de leerlingen beginnen met het samenstellen en ontbinden van krachten in meerdere richtingen. Om dit te kunnen moeten de leerlingen eerste leren wat de resulterende kracht langs een werklijn is.

A.2 Misconcepten

Een deel van de vragen uit de testen en het SO is gebaseerd op misconcepten waarvan uit de literatuur bekend is dat deze bij leerlingen voorkomen. In dit hoofdstuk wordt hier een overzicht van gegeven. Een deel van de misconcepten komt uit de literatuur. Een ander deel komt uit leservaringen binnen de eigen sectie. In de tekst hieronder zullen de misconcepten die in de testen en het SO terugkomen per thema worden geïntroduceerd en besproken.

Krachten theorie

- 1a. Kracht wordt gezien als een kwaliteit waarvan een voorwerp een bepaalde hoeveelheid kan bevatten. Deze hoeveelheid kan na verloop van tijd 'op' raken. Dit misconcept is ook wel bekend als het 'Impetus' misconcept en wordt onder andere beschreven door Halloun en Hestenes (1985), McCloskey (1983) en Vegting (1986).
- 1b. In een statische situatie is er geen reactiekracht. Is een misconcept dat is onderzocht door Halim, Kia Yong en Meeran (2014). De leerlingen denken dat er in een statische situatie maar één kracht op een voorwerp actief is.
- 1c. Uit eigen ervaring is bekend dat leerlingen denken dat krachten herkend kunnen worden doordat er contact tus-

sen twee voorwerpen is.

- 1d. Een misconcept dat binnen de natuurkunde-sectie vaker opgemerkt wordt is dat luchtweerstand en windkracht als hetzelfde worden gezien.
- 1e. Leerlingen zijn soms geneigd om de pijl van de spankracht net zo groot te tekenen als dat het touw, de ketting of de kabel lang is. Hierbij wordt geen rekening met de krachterschaal gehouden.
- 1f. De snelheidsvector wordt als kracht getekend en/of meegenomen in berekeningen. Dit wordt beschreven door Clement (1981).
- 1g. Wanneer er geen actie is werkt er ook geen kracht op een object, is een misconcept dat Minstrell (1982) in interviews met leerlingen heeft vastgelegd.

Resulterende kracht

- 2a. leerlingen beschouwen kracht niet als vectorgrootte, maar als een grootte zonder richting (scalaire grootte) zoals bijvoorbeeld energie of druk. Dit wordt onder andere beschreven in het boek over misconcepten van Driver Driver, Guesne en Tiberghien (2000).
- 2b. Uit onder andere een artikel van van den Berg en Emett (2007), blijkt dat de richting waarin de normaalkracht werkt vaak verkeerd wordt gekozen.
- 2c. De resulterende kracht is een soort compromis tussen de krachten die op een voorwerp werken. Onder andere antwoordmogelijkheden in het werk van Hestenes et al. (1992) zijn hierop gebaseerd.

Kracht en beweging

- 3a. Er is geen beweging is bij evenwicht van krachten. Dit betekent dat er altijd een resulterende kracht in de beweegrichting moet zijn wanneer er sprake is van beweging. Zoals Trumper en Gorsky (1996), Halim et al. (2014) en Adair (2013) beschrijven.
- 3b. Resulterende kracht en snelheid zijn evenredig in plaats van resulterende kracht en versnelling zoals onder andere wordt beschreven in het boek van Driver, Guesne en Tiberghien (2000).
- 3c. Een resulterende kracht tegen de beweegrichting in leidt tot een beweging achteruit. Dit is beschreven in het werk van Adair (2013).
- 3d. Er is een kracht nodig om een object omhoog te laten bewegen, maar niet voor een beweging omlaag. Zoals Ferreira (2014) beschrijft.

- 3e. Leerlingen spreken alleen over wrijving/weerstandskrachten wanneer een object aan het bewegen is. Oftewel, een stilstaand object ondervindt geen wrijving. Dit misconcept is onder andere beschreven door Vegting (1986) en Driver, Guesne en Tiberghien (2000).
- 3f. Weerstandskrachten worden in de verkeerde richting verondersteld en/of getekend. Een manier waarop dit misconcept gediagnostiseerd kan worden, wordt beschreven door van den Berg en Emmett (2007).
- 3g. Massa gaat beweging tegen, dit misconcept is omschreven door Hestenes et al. (1992).
- 3h. Weerstand en/of wrijving worden niet gezien als een kracht Driver, Guesne en Tiberghien (2000).

A.3 Ontwerp van de testen

De bovengenoemde misconcepten zijn verwerkt in de testen en de schriftelijke overhoring. De vraagstelling, het leerdoel dat bij de vraag hoort, de verwachte misconcepten en de antwoordenmogelijkheden op basis van de misconcepten worden per thema worden besproken in deze sectie van het verslag. De vragen en antwoordmogelijkheden die horen bij de pre- en posttest zijn in detail weergegeven in bijlage D.1. De schriftelijke overhoring is bijgevoegd in bijlage E.

In tabel A.1 zijn de vragen, doelen, beoogde misconcepten en verwachte antwoorden weergegeven van de testvragen die horen bij het thema 'krachten theorie.' In tabel A.2 zijn de vragen, doelen, misconcepten en verwachte antwoorden bij de vragen over 'resulterende krachten' gegeven. En tot slot zijn in tabel A.3 de vragen en antwoordmogelijkheden bij het thema kracht en bewegen gegeven.

A.4 Data analyse

De kwantitatieve resultaten van de testen en het SO zijn met behulp van SPSS, geanalyseerd voor de statistische relevantie. In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de analyses die gebruikt zijn.

A.4.1 Gemiddelden en standaard deviaties

Om antwoord te kunnen geven over de hoofdvraag zijn van een verschillende 'groepen' van opgaven de gemiddelden bepaald. Dit is gedaan aan de hand van vergelijking A.1.

$$X_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{i,j} \quad (\text{A.1})$$

Hierin is X_i het gemiddelde van een klas voor een opgave. $x_{i,j}$ is het deel van de punten dat aan een leerling is toegekend, n is het totale aantal leerlingen in een klas, i is de naam van de klas, dit kan 3Ha (A) zijn of 3Hc (C). In het SO wordt $x_{i,j}$ bepaald door de score van een opgave te delen door het aantal punten dat maximaal haalbaar is. In de pre- en posttest is de waarde van $x_{i,j}$ een 1 (bij een correct antwoord) of een 0 (bij foutief antwoord).

Om de afwijking ten opzichte van de gemiddelde score in beeld te krijgen is de standaard deviatie rondom de gemiddelde score bepaald.

$$sd_i = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_{i,j} - X_i)^2\right)} \quad (\text{A.2})$$

Wanneer de resultaten per onderwerp of voor de gehele toets/test worden beschouwd wordt een totaal score gebruikt. Hierbij is X_i de sommatie over de afzonderlijke opgaven, sd_i geeft de standaard deviatie die hoort bij de somscore aan. Wanneer dit het geval is wordt dit vermeld in de tekst en/of bij de tabel. Het maximale aantal punten dat voor een opgave te behalen is, wordt gegeven bij de tabel. In enkele gevallen wordt een totaalscore als percentage gegeven. In dat geval wordt de totaalscore gedeeld door het maximale aantal punten en vermenigvuldigd met 100%.

A.4.2 t-test

Om te toetsen of er significante statistische verschillen zijn, wordt er een t-test gebruikt. Hiervoor wordt met behulp van een Kolmogorov-Smirnoff analyse in SPSS getest of de data normaal verdeeld is, zoals beschreven wordt door Field (2013). In de t-test die in dit onderzoek wordt uitgegaan, wordt er vanuit gegaan dat er geen verschil is tussen de gemiddelde scores van de beide klassen. Dit leidt tot de volgende nulhypothese $\Delta_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$. Hierin zijn μ_1 en μ_2 de gemiddelde scores. Er wordt een onafhankelijke t-test voor vergelijkbare varianties gebruikt. Met behulp van Levene's test wordt bij ieder dataset onderzocht of de aanname van vergelijkbare varianties juist is. De t_0 testwaarde is berekend met behulp van formule A.3.

$$t_0 = \frac{X_1 - X_2 - \Delta_0}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{(n_1+n_2-2)\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}} \quad (\text{A.3})$$

In deze vergelijking is S_i de variantie van de groep. Met behulp van SPSS wordt de p-waarde die bij de resulterende t_0 waarde hoort verkregen. Hiertoe wordt de kans dat t_0 binnen $p = 0,05$ grenzen van een t-verdeling valt berekend voor een tweezijdige t-test. Wanneer deze p-waarde kleiner is dan $p = 0,05$, is het verschil tussen de gemiddelde scores in beide groepen significant en dient de gestelde nulhypothese verworpen te worden.

Tabel A.1: Krachten theorie Vragen uit de pre- en posttest en het SO, over krachten theorie. In de eerste kolom wordt het nummer van de vraag genoemd. De tweede kolom beschrijft de vraagstelling. In de derde kolom is het doel van de vraag gegeven. De vierde kolom geeft aan welk(e) misconcepten er met de vraag worden getest. In de vijfde kolom wordt (een voorbeeld van) het verwachte antwoord gegeven.

	Vraag	Doel	Misconcept	Verwacht antwoord
Pré-Posttest vraag 1 (zie ook: SO vraag 4)	Prétest: effecten van kracht op een hockeypuck Posttest: effecten van kracht op een sprinter	Effecten van krachten op een voorwerp benoemen	c, doordat er contact is kan het effect van kracht worden waargenomen 1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten.	1a, Doordat de stick en puck contact hebben/ er contact met de baan is d, Doordat de speler kracht verliest/sprinter moe wordt.
Pré-posttest vraag 2 (zie ook: SO vraag 11b)	Prétest: Welke krachten werken er op een parachutist bij windstilte Posttest: Welke krachten werken er op een duikboot die stil "hangt"	Krachten herkennen en benoemen	pre: 1d, luchtweerstand is hetzelfde als windkracht post: 1b, In een statische situatie is er geen reactiekracht	pre: b, Er werkt windkracht/glijweerstand post: c, Leerlingen geven maar één kracht aan (zwaartekracht)
SO vraag 4 (zie ook: pp vraag 1)	Welke effecten kan een kracht op een voorwerp hebben	Effecten van krachten op een voorwerp benoemen	1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten. 1g, wanneer er geen actie is werkt er geen kracht 1c, doordat er contact is kan het effect van kracht worden waargenomen	De hoeveelheid kracht raakt op: je wordt moe Verandering van beweging Voorwerpen raken elkaar
SO vraag 8 (zie ook: SO vraag 9)	Tekenen van de spankracht in een touw	Krachten tekenen	1e, de pijl van de spankracht is net zo groot als de lengte van het touw	De spankracht wordt net zo lang gemaakt als de lengte van het touw
SO vraag 9 (zie ook: SO vraag 8, 14)	Tekenen van de krachten op een doos die versneld over een vloer wordt gesleept.	Krachten tekenen	1e, de pijl van de spankracht moet net zo groot worden als dat het touw lang is. 1b, In een statische situatie is er geen reactiekracht 2b, de leerlingen hebben moeite met de richting van de normaalkracht. 3f, weerstandskrachten worden in de verkeerde richting getekend	De spankracht wordt net zo lang gemaakt als de lengte van het touw Er wordt geen normaalkracht getekend als reactie op de zwaartekracht. De normaalkracht staat niet loodrecht op het oppervlak. De glijweerstand wijst in de beweegrichting
SO vraag 11b (zie ook: pp vraag 2)	Krachten herkennen	Zwaartekracht, spankracht en glijweerstand	1b, in een statische situatie is er geen reactiekracht 3e, er werken alleen weerstandskrachten wanneer er sprake is van beweging	De leerlingen geven aan dat er geen andere kracht op de abseiler werkt. De glijweerstand wordt vergeten.

Tabel A.2: Vragen uit de pre- en posttest en het SO, over resulterende krachten. In de eerste kolom wordt het nummer van de vraag genoemd. De tweede kolom beschrijft de vraagstelling. In de derde kolom is het doel van de vraag gegeven. De vierde kolom geeft aan welk(e) misconcepten er met de vraag worden getest. In de vijfde kolom wordt (een voorbeeld van) het verwachte antwoord gegeven.

	Vraag	Doel	Misconcept	Verwacht antwoord
Pré-Posttest vraag 5	Een sterke man en jongen trekken allebei aan een doos, welke kant gaat deze op? In welke richting kan je deze doorhangende boom het beste rechtekken?	Herkennen het vectoriële karakter van krachten	2a, kracht wordt als een scalaire grootheid beschouwd.	Pré: b, Post: b & c, de richting maakt niet uit bij het werken met krachten.
Pré- en posttest vraag 8	Een object met een initiële horizontale snelheid begint met vallen, welk pad zal deze afleggen?	Herkennen van het vectoriële karakter van krachten	2c, de resulterende kracht is een compromis tussen alle krachten op een voorwerp	Pré: a, Post: c, de impuls die de bal meekrijgt en de zwaartekracht zullen samen voor dit traject zorgen.
			1a, Kracht is een eigenschap die 'op' kan raken. (Prétest)	Pré: c & d, zodra de horizontale kracht op is, neemt de zwaartekracht het over.
			3g, Massa werkt beweging tegen	Post: a, doordat het pakket massa heeft zal deze na het verlaten van het vliegtuig 'afremmen'
			3a, de grootste kracht bepaalt de beweegrichting	Post: b, de zwaartekracht is groter dan het effect van de horizontale snelheid, hierdoor valt het pakketje direct naar beneden
Pré- en posttest vraag 11	Een man trekt aan een stilstaand voertuig, wat is de kracht van de auto op de man?	Resulterende kracht en beweging	1b, in een statische situatie is er geen reactiekracht.	A, het voertuig trekt niet aan de man
			3g, Massa werkt beweging tegen	A & b, de kracht is net zo groot als het gewicht van de auto/man
SO vraag 12	Er werken krachten naar links en naar rechts, wat is de resulterende kracht?	Resulterende krachten bepalen	2a, kracht wordt als een scalaire grootheid beschouwd.	Er wordt geen richting gegeven bij het eindantwoord.
SO vraag 14	Weten wat de normaalkracht is	Normaalkracht tekenen	2c, de leerlingen hebben moeite met de richting waarin de normaalkracht wijst.	De normaalkracht wordt in de verkeerde richting getekend.
SO vraag 15b	Resulterende krachten bepalen	Resulterende krachten bepalen	3a, er is altijd een resulterende kracht in de beweegrichting.	Een van de beide weerstandskrachten wordt als voortstuwend beschouwd.
			1f, de snelheidsvector wordt als kracht beschouwd.	De snelheidsvector wordt meegenomen bij het berekenen van het krachtenevenwicht.

Tabel A.3: Vragen uit de pre- en posttest en het SO, over resulterende krachten. In de eerste kolom wordt het nummer van de vraag genoemd. De tweede kolom beschrijft de vraagstelling. In de derde kolom is het doel van de vraag gegeven. De vierde kolom geeft aan welk(e) misconcepten er met de vraag worden getest. In de vijfde kolom wordt (een voorbeeld van) het verwachte antwoord gegeven.

	Vraag	Doel	Misconcept	Verwacht antwoord
Pré- en posttest vraag 3	Pré: Wanneer bij touwtrekken de krachten even groot zijn... Post: Wanneer bij armpje drukken de krachten even groot zijn...	Resulterende kracht en beweging	3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging.	Pré: d, er moet altijd een kracht groter zijn. Post: c, bij evenwicht van krachten in er geen beweging.
Pré- en posttest vraag 4	Een object beweegt met een constante snelheid van ..m/s, wat weet je over de krachten?	Resulterende kracht en beweging	3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging.	a,c: de tegenwerkende kracht is groter/kleiner dan de voortstuwende kracht
			3b, resulterende kracht en snelheid zijn evenredig	d, als de kracht verdubbelt wordt de snelheid twee keer zo groot.
Pré- en posttest vraag 6	Pré: Een lift beweegt omlaag met constante snelheid, wat kan je zeggen over de krachten? Post: Een kokosnoot valt met constante snelheid, wat kan je zeggen over de krachten?	Resulterende kracht en beweging	3d, er is een kracht nodig om omhoog te kunnen bewegen, maar niet voor omlaag.	d, er zijn geen krachten die omhoog werken.
			3a, er is een resulterende kracht nodig voor beweging.	a,c: de krachten omhoog zijn groter/kleiner dan de krachten omlaag.
Pré- en posttest vraag 7 (zie ook SO 13a)	Welke krachten werken op een bal die door de lucht vliegt?	Tegenwerkende- en voortstuwende krachten herkennen	1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten.	a,b,d: de leerlingen denken dat de bal een bepaalde hoeveelheid spierkracht mee zal krijgen
Pré- en posttest vraag 9	Pre: Wat is de rol van de windkracht bij surfen (wind mee) en fietsen (tegenwind)? Post: Wat is de rol van de zwaartekracht bij skiën (bergafwaarts), en bij vliegen (omhoog)?	Tegenwerkende- en voortstuwende krachten herkennen	3f, weerstands krachten worden in de verkeerde richting gekozen.	pré: a,d: tegenwind werkt voortstuwend. Post: a,d: zwaartekracht werkt voortstuwend.
			1f, luchtweerstand en windkracht zijn hetzelfde	pré: a, de windkracht is tegenwerkend bij surfen en voortstuwend bij fietsen.
			post: 3d, er wel een kracht nodig voor een beweging omhoog, niet voor omlaag	post b, de zwaartekracht werkt tegen de beweegrichting in.
SO vraag 13a (zie ook pp 7)	Benoem de krachten op een bal die met constante snelheid valt	tegenwerkende- en voortstuwende krachten herkennen	3h, wrijving/weerstand is geen kracht	de luchtweerstand wordt weggelaten
			3d, er is een kracht nodig om omhoog te kunnen bewegen, maar niet voor omlaag.	De zwaartekracht wordt niet genoemd
			1a, kracht is een kwaliteit die een voorwerp kan bevatten.	De spierkracht wordt ingevuld
SO vraag 13 b (zie ook pp vraag 4)	De zwaartekracht op de bal is 2N, wat is de resulterende kracht op de bal die met constante snelheid valt?	Resulterende kracht en beweging	1f, de snelheidsvector wordt als kracht beschouwd	De leerlingen nemen op één of andere manier de snelheidsvector mee in het antwoord.
			3a, bij een beweging is er altijd een resulterende kracht in de beweegrichting.	De resulterende kracht wordt groter dan 0N verondersteld.
			3h, wrijving/weerstand is geen kracht	De leerlingen laten de luchtweerstand weg in de berekening van de resulterende kracht
SO vraag 15 c	Bereken de resulterende kracht op een (afremmende) trein	Resulterende kracht en beweging	3a, bij een beweging is er altijd een resulterende kracht in de beweegrichting.	De leerlingen noemen de beweging versneld of constant.
			3c, een resulterende kracht tegen de beweegrichting in leidt tot een beweging achteruit	De leerlingen geven aan dat de trein versneld achteruit beweegt.

IJmuiden 19-12-2018

Geachte Ouders/Verzorgers,

In het natuurkunde onderwijs is het onderwerp over krachten één van de onderwerpen die de basis vormt. De leerlingen die momenteel in derde leerjaar Havo en Vwo zitten, hebben dit onderwerp echter nog niet behandeld in eerdere leerjaren.

Voor het bijspijkeren van de kennis over dit onderwerp, is een handleiding door de natuurkunde vakgroep van het Vellesan College ontwikkeld. Voor het afronden van mijn afstudeeronderzoek aan de Universiteit Twente zou ik graag de effectiviteit van deze handleiding onderzoeken. Daarvoor zijn de resultaten van uw zoon of dochter nodig. Het gaat hierbij om enkele enquêtes die gedurende de module worden afgenomen, antwoorden op vragen uit de toets en het (huis-)werk dat uw zoon of dochter gedurende de module heeft gemaakt. Hierbij benadruk ik graag dat alle gegevens anoniem worden behandeld, om een objectief beeld van de effectiviteit van de module te krijgen.

Wanneer u niet wilt dat de resultaten van uw zoon of dochter anoniem meegenomen worden in dit onderzoek dan verneem ik dat graag van u op het emailadres w.cijsouw@vellesancollege.nl, het werk en de resultaten van uw zoon of dochter zullen dan worden uitgesloten van het onderzoek. Ook voor verdere vragen over de module of het onderzoek kunt u een bericht sturen naar dit email adres.

Alvast hartelijk dank voor uw medewerking,

Namens de sectie natuurkunde,

Wout Cijsouw

Docent Natuurkunde

w.cijsouw@vellesancollege.nl

Aanwezig op ma - vrij



Briniostraat 16

1971 HM IJmuiden

0251 519 001

Vragen en resultaten bij de pre- en posttest

Tabel C.1: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 1 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b. correct	c.	d.
1. Een hockeypuck wordt weggeslagen, hoe kan je zien dat er een kracht wordt uitgeoefend?	Doordat de puck verandert van vorm	Doordat de snelheid van de puck verandert	Doordat de stick en de puck contact hebben	Doordat de speler kracht verliest
3Ha	0,00	0,88	0,06	0,06
3Hc	0,42	0,16	0,32	0,11
Post-test	a.	b. correct	c.	d.
1. Een sprinter begint met rennen, hoe kan je zien dat ze een kracht uitoefent?	Doordat de sprinter verandert van vorm	Doordat de snelheid van de sprinter verandert	Doordat de sprinter contact heeft met de baan	Doordat de sprinter moe wordt
3Ha	0,00	1,00	0,00	0,00
3Hc	0,00	1,00	0,00	0,00

Tabel C.2: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 2 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b.	c.	d. correct
2. Welke krachten werken er op een parachutist wanneer het windstil is?	Opwaartse kracht, drijfvermogen en zwaartekracht.	Zwaartekracht en windkracht	Opwaartsekracht, luchtweerstand en zweefkracht	Luchtweerstand en zwaartekracht
3Ha	0,24	0,06	0,18	0,53
3Hc	0,00	0,16	0,42	0,42
Post-test	a. correct	b.	c.	d.
2. Welke krachten werken er op een duikboot die stil onder water "hangt"?	Zwaartekracht en opwaartse kracht	Zwaartekracht, opwaartse kracht en glijweerstand	Zwaartekracht	Zwaartekracht, opwaartse kracht en kracht van de motor
3Ha	0,63	0,00	0,06	0,31
3Hc	0,50	0,19	0,19	0,13

Tabel C.3: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 3 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b.	c. correct	d.
3. Wanneer tijdens het touwtrekken de kracht naar links even groot is als de kracht naar rechts...	"Beweegt het geheel naar links"	"Beweegt het geheel naar rechts"	"Staat iedereen stil"	"Dat kan niet, er moet altijd een kracht groter zijn."
3Ha	0,06	0,00	0,76	0,18
3Hc	0,05	0,00	0,89	0,05
Post-test	a.	b.	c.	d. correct
3. Wanneer bij het armpje drukken de kracht van Karel even groot is als de kracht van Freek dan....	"Bewegen beide armen richting karel"	"Dat kan niet, er moet altijd een kracht groter zijn."	"Is er geen beweging"	"Heeft de beweging een constante snelheid"
3Ha	0,00	0,00	0,56	0,44
3Hc	0,06	0,00	0,75	0,19

Tabel C.4: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 4 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b. correct	c.	d.
4. Een doos beweegt met een constante snelheid van 4,0 m/s, wat weet je over de krachten?	"De tegenwerkende krachten zijn groter dan de voortstuwende."	"De krachten zijn even groot in beide richtingen."	"De tegenwerkende krachten zijn kleiner dan de voortstuwende."	"Als de krachten worden verdubbeld wordt de snelheid 8,0 m/s."
3Ha	0,06	0,24	0,29	0,41
3Hc	0,16	0,21	0,47	0,16
Post-test	a.	b. correct	c.	d.
4. Een boot beweegt met een constante snelheid van 40 km/h, wat weet je over de krachten?	"De tegenwerkende krachten zijn groter dan de voortstuwende."	"De krachten zijn even groot in beide richtingen."	"De tegenwerkende krachten zijn kleiner dan de voortstuwende."	"Als de krachten worden verdubbeld wordt de snelheid 8,0 m/s"
3Ha	0,13	0,38	0,50	0,00
3Hc	0,06	0,38	0,56	0,00

Tabel C.5: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 5 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a. correct	b.	c.
5. Een man en een jongen trekken zo hard als mogelijk aan een doos, welke richting beweegt de doos	A	B	C
3Ha	0,88	0,12	0,00
3Hc	0,89	0,00	0,11
Post-test	a. correct	b.	c.
5. Een klein palmboompje hangt door, in welke richting kan je het beste de palmboom recht trekken?	A	B	C
3Ha	0,81	0,13	0,00
3Hc	0,50	0,31	0,13

Tabel C.6: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 6 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b. correct	c.	d.
6. Een lift beweegt omlaag met constante snelheid, Wat kan je zeggen over de krachten op de lift?	"De krachten omlaag zijn groter dan de krachten omhoog."	"De krachten omlaag zijn gelijk aan de krachten omhoog."	"De krachten omhoog zijn groter dan de krachten omlaag."	"Er zijn geen krachten die omhoog werken."
3Ha	0,35	0,18	0,24	0,24
3Hc	0,11	0,61	0,28	0,00
Post-test	a.	b. correct	c.	d.
6. Een kokosnoot valt met een constante snelheid, wat kan je zeggen over de krachten op de noot.	"De krachten omlaag zijn groter dan de krachten omhoog."	"De krachten omlaag zijn gelijk aan de krachten omhoog."	"De krachten omhoog zijn groter dan de krachten omlaag."	"Er zijn geen krachten die omhoog werken."
3Ha	0,13	0,63	0,00	0,19
3Hc	0,25	0,38	0,00	0,31

Tabel C.7: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 7 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b.	c. correct	d.
7. Welke krachten werken op een weggeschoten voetbal die door de lucht vliegt?	Spijkracht, zwaartekracht en luchtweerstand	Spijkracht en luchtweerstand	Luchtweerstand en zwaartekracht	Luchtweerstand, spijkracht, rolweerstand en zwaartekracht
3Ha	0,24	0,06	0,18	0,53
3Hc	0,42	0,16	0,32	0,11
Post-test	a.	b.	c. correct	d.
7. Welke krachten werken op een tennisbal die door de lucht vliegt?	Spijkracht, zwaartekracht en luchtweerstand	Spijkracht en luchtweerstand	Luchtweerstand en zwaartekracht	Luchtweerstand, spijkracht, rolweerstand en zwaartekracht
3Ha	0,19	0,13	0,63	0,00
3Hc	0,25	0,19	0,31	0,13

Tabel C.8: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 8 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b. correct	c.	d.
8. Een kanonskogel wordt afgeschoten, welk pad (a-d) zal deze volgen?	A	B	C	D
3Ha	0,00	0,88	0,12	0,00
3Hc	0,00	0,21	0,68	0,11
Post-test	a.	b. correct	c.	d.
8. Een pakketje valt uit een vliegtuig, welk pad zal het pakje volgen.	A	B	C	D
3Ha	0,44	0,25	0,13	0,13
3Hc	0,63	0,06	0,00	0,13

Tabel C.9: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 9 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b.	c. correct	d.
9. Wat is de rol van de windkracht bij surfen (wind mee) en fietsen (tegenwind)?	"surfen: tegenwerken, fietsen: voortstuwend"	"surfen: tegenwerkend, fietsen: tegenwerkend"	"surfen: voortstuwend, fietsen: tegenwerkend"	"surfen: voortstuwend, fietsen: voortstuwend"
3Ha	0,00	0,12	0,88	0,00
3Hc	0,00	0,05	0,84	0,11
Post-test	a.	b.	c. correct	d.
9. Wat is de rol van de zwaartekracht bij skiën (bergafwaarts), en bij vliegen (omhoog)?	"Skiën: tegenwerkend, vliegen: voortstuwend"	"Skiën: tegenwerkend, vliegen: tegenwerkend"	"Skiën: voortstuwend, vliegen: tegenwerkend"	"Skiën: voortstuwend, vliegen: voortstuwend"
3Ha	0,06	0,31	0,56	0,00
3Hc	0,06	0,25	0,38	0,13

Tabel C.10: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van het aantal stemmen bij opgaven 10 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a. correct	b.	c.	d.
10. Een kracht van 500N wordt aangegeven met een pijl van 2cm. Hoe lang is de pijl bij 2000N?	8cm	9,0 cm	0,5 cm	4000 cm
3Ha	0,24	0,06	0,18	0,53
3Hc	0,42	0,16	0,32	0,11
Post-test	a. correct	b.	c.	d.
10. Een kracht van 500N wordt aangegeven met een pijl van 2cm. Hoe lang is de pijl bij 2000N?	8cm	9,0 cm	0,8 cm	15 cm
3Ha	0,75	0,00	0,19	0,00
3Hc	0,50	0,13	0,00	0,19

Tabel C.11: Vraag, antwoordmogelijkheden en fracties van aantal stemmen bij opgave 11 uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha en $n = 19$ in 3Hc. Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc.

Pré-test	a.	b.	c. correct	d.
11. Een man trekt aan een stilstaande auto. Hoe groot is de kracht van de auto op de man?	Gelijk aan het gewicht van de auto	Gelijk aan het gewicht van de man	Net zo groot als de trekkracht van de man	De auto staat stil dus oefent geen kracht uit
3Ha	0,29	0,00	0,18	0,53
3Hc	0,11	0,11	0,21	0,58
Post-test	a.	b.	c. correct	d.
11. Een man trekt aan een vrachtwagen. Hoe groot is de kracht van de vrachtwagen op de man?	Gelijk aan het gewicht van de vrachtwagen	Gelijk aan het gewicht van de man	Net zo groot als de trekkracht van de man	De vrachtwagen trekt niet aan de man.
3Ha	0,25	0,06	0,25	0,38
3Hc	0,38	0,00	0,13	0,31

Bijlage D

Discussie resultaten per thema

D.1 Krachtentheorie

In tabel D.1 worden de totaalscores van de beide klassen voor de pre- en posttest bij het onderwerp 'Krachtentheorie' gegeven. Er kunnen maximaal drie punten behaald worden voor dit onderwerp bij de pre- en posttest.

Aan de resultaten van de pretest is te zien dat de leerlingen uit 3Ha met 2,29 punten gemiddeld een score van 76% behalen. De leerlingen uit 3Hc halen met een gemiddelde van 2 punten een score van 67%.

In de posttest halen de leerlingen uit 3Ha gemiddeld 2,38 punten wat een score van 79% is. Klas 3Hc haalt met gemiddeld 2 punten een score van 67%.

Tabel D.1: Krachtentheorie: gemiddelde score(X), standaard deviatie (sd) en p -waarde van de vragen uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C). Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. De maximale score bedraagt 3 punten.

	X(A)	ds(A)	X(C)	ds(C)	p
prétest	2,29	0,772	2	0,667	0,23
posttest	2,38	0,719	2	0,816	0,18

In tabel D.2 is de totaal score voor beide klassen te zien bij de vragen uit het SO over 'Krachtentheorie.' De leerlingen kunnen hier een totaalscore van 6 punten halen. In de resultaten is te zien dat 3Ha gemiddeld 3,38 punten scoort, wat overeen komt met een score van 56% van de punten. In 3Hc worden gemiddeld 3,15 punten verdient, dit komt overeen met een score van 52% van de punten op 'Krachtentheorie.'

Tabel D.2: Krachtentheorie op het SO: Gemiddelde score(X), standaard deviatie(sd) en p -waarde van de totale score. In 3Ha(A) geldt en $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$. De maximale score bedraagt 6 punten.

	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
Totaal score	3,38	0,79	3,15	0,92	0,79

D.1.1 Theorie: pre- en posttest

De antwoordmogelijkheden bij vraag één uit de pre- en posttest zijn te zien in tabel C.1. Onder de vraag staat per klas het deel van de leerlingen dat voor een antwoord heeft gekozen.

In de pretest zijn antwoorden a en b correct: verandering

van vorm of snelheid. Klas 3Ha heeft hier met een score van 88% een hogere score dan 3Hc met 58%. Aan de antwoorden die worden gegeven valt op dat in 3Hc mogelijkheid c veel gekozen wordt, leerlingen denken dat contact een indicatie van kracht is (misconcept 1c).

In de post-test is de gemiddelde score 100%, in beide klassen stemmen alle leerlingen voor het juiste antwoord.

De antwoordmogelijkheden en resultaten bij vraag 2 zijn gegeven in tabel C.2. In de pre-test is te zien dat de leerlingen in 3Ha 53% van de punten scoren ten opzichte van 42% in 3Hc. Wat opvalt is dat er relatief weinig stemmen naar de windkracht gaan zoals was wel verwacht volgens misconcept 1f, luchtweerstand is hetzelfde als windkracht.

In de posttest krijgt in beide klassen het correcte antwoord de meeste stemmen, de score in 3Ha is 63% in 3Hc is dit 50%. In 3Ha krijgt het foutieve antwoord dat de kracht van de motor bevat veel stemmen.

Vraag 10 uit de pre- en posttest gaat over het rekenen met een krachtschaal, de resultaten zijn te vinden in tabel C.10. In klas 3Hc is de gemiddelde score met 42% hoger dan in 3Ha waar 24% van de leerlingen een correct antwoord geeft. In de post-test beantwoordt in 3Ha 75% van de leerlingen de vraag correct in 3Ha, ten opzichte van 50% van de leerlingen in 3Hc.

D.1.2 Theorie: SO

Tabel D.3: Krachtentheorie: gemiddelde score(X), standaard deviatie(sd) en p -waarde per opgave over krachten theorie uit de schriftelijke overhoring. In 3Ha(A) geldt en $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$.

Opgave en onderwerp	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
4. Effecten op een voorwerp	0,67	0,34	0,57	0,43	0,44
5. Van vorm veranderen	0,86	0,33	0,78	0,38	0,47
8. Spankracht	0,64	0,23	0,50	0,36	0,17
9. Krachten tekenen	0,35	0,27	0,33	0,29	0,81
11b. Soorten krachten	0,00	0,00	0,25	0,55	0,06
15a. Gebruik krachtschaal	0,86	0,27	0,74	0,38	0,26

De resultaten bij de vragen van het SO die over 'Krachtentheorie' gaan, zijn weergegeven in tabel D.3.

In vraag 4 van de schriftelijke overhoring wordt de leerlingen gevraagd welke drie effecten een kracht op een voorwerp kan hebben. Met 67% van de punten is het resultaat in 3Ha beter dan in 3Hc met 57% van de punten. Meerdere malen is een

antwoord als 'kracht kan je herkennen doordat er beweging is' voorbij gekomen. Daarnaast komen verandering van massa en grootte van een voorwerp voorbij.

In vraag 5 moeten de leerlingen de begrippen plastisch en elastisch beschrijven. 3Ha scoort hier 86% van de punten, 3Hc 78% van de punten. Er zijn enkele leerlingen die benoemen dat de opgelegde kracht weggenomen moet worden voordat de aard van de vervorming kan worden aangetoond.

In opgave 8 van het SO tekenen de leerlingen de spankracht op een slee. Klas 3Ha scoort hier 64% van de punten tegenover 50% van de punten in 3Hc. De meeste leerlingen die niet alle punten krijgen voor de opgave, tekenen de kracht zonder pijlpunt en/of vergeten de naam van de kracht op te schrijven. Daarnaast zijn er enkele leerlingen geweest die de spankracht horizontaal vanuit het aangrijpingspunt op de slee tekenen. Er is éénmaal waargenomen dat de spankracht net zo lang wordt getekend als het touw zelf, misconcept 1e.

In opgave 9 van het SO tekenen de leerlingen alle krachten op een doos die met constante snelheid beweegt. De leerlingen uit klas 3Ha verdienen gemiddeld 35%, wat vergelijkbaar is met 33% van de punten in 3Hc. Wat opvalt is dat het aangrijpingspunt van de krachten in het zwaartepunt geplaatst wordt. De richting van de glijweerstand wordt regelmatig met de beweegrichting mee gekozen. Het vinden van het aangrijpingspunt van de normaalkracht gaat vaak mis.

In vraag 11b van het SO wordt de leerlingen gevraagd de krachten op een persoon die aan het abseilen is te benoemen. In klas 3Hc wordt met 25% van de punten hoger gescoord van in klas 3Ha met 0% van de punten. De spankracht wordt door 12 van de 38 leerlingen benoemd, de glijweerstand door zes leerlingen. Foutieve antwoorden als luchtweerstand, normaalkracht, hangkracht en/of windkracht komen voorbij.

In vraag 15a wordt gevraagd de grootte van de krachten te bepalen met behulp van een krachtschaal. De leerlingen in 3Ha halen hierbij 86% van de punten, ten opzichte van 78% van de punten in 3Hc. Fouten zitten veelal in niet nauwkeurig opmeten van de krachten of opschrijven van tussenstappen.

D.2 Resulterende krachten

De resultaten die horen bij de vragen uit de pre- en posttest over resulterende krachten zijn te zien in tabel D.4. Er zijn maximaal drie punten te behalen in de pre- en posttest. In de pretest is het gemiddelde puntenaantal van 3Ha: 1,9 punten, een score van 63%. In 3Hc is het gemiddelde puntenaantal 1,3: een score van 43%. In de posttest is het gemiddelde puntenaantal 1,5 voor klas 3Ha, een score van 50%. In 3Hc bedraagt het puntenaantal 1,25 wat overeen komt met een score van 42%.

In tabel D.5 wordt de totaalscore bij de opgaven uit het

Tabel D.4: Resulterende krachten: *Gemiddelde score(X), standaard deviatie (sd) en p -waarde van de vragen over resulterende krachten uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C). Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. De maximale score bedraagt 3 punten.*

	X(A)	ds(A)	X(C)	ds(C)	p
prétest	1,94	0,43	1,32	0,67	0,00
posttest	1,50	0,73	1,25	0,68	0,33

SO gegeven. De maximale score is drie punten. 3Ha haalt gemiddeld 1,83 punten, dit is een score van 61%. De leerlingen uit 3Hc halen gemiddeld 1,77 punten, wat overeen komt met een score van 59% op resulterende krachten.

Tabel D.5: Resulterende krachten: *totaalscore over alle vragen uit het so die horen bij het thema resulterende krachten. Het gemiddelde aantal punten (X), de standaard deviatie(sd) en p -waarde zijn te zien. In 3Ha(A) geldt $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$. De maximale score bedraagt 3 punten.*

	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
Totaal score	1,83	0,61	1,77	0,77	0,77

D.2.1 Resulterende krachten: pre- en posttest

De resultaten van de beide klassen bij vraag 5 uit de pre- en posttest zijn te zien in tabel C.5.

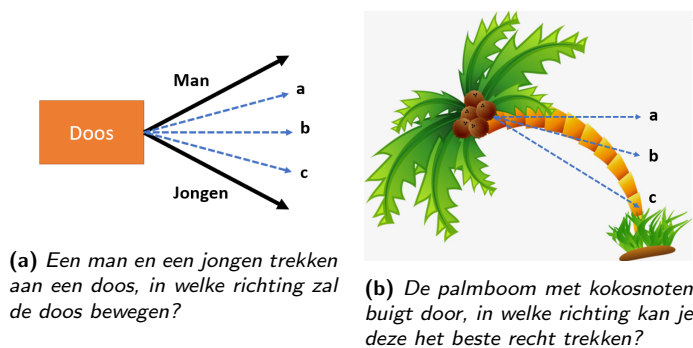
Vraag 5 uit de pre-test gaat over het samenstellen van twee krachten in een bepaalde richting, wanneer. De opdracht is te zien in figuur D.1a. In beide klassen stemt ongeveer 90% van de leerlingen voor het juiste antwoord.

Bij vraag 5 uit posttest (figuur D.1b) gaat over het recht op zetten van een doorhangende palmboom. In 3Ha stemt 81% van de leerlingen voor het juiste antwoord ten opzichte van 50% in 3Hc.

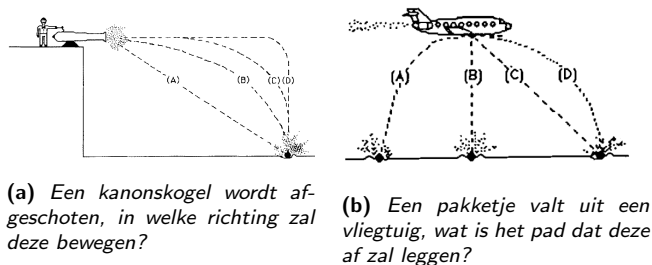
De resultaten die bij vraag 8 van de pre- en posttest horen zijn, weergegeven in tabel C.8. De leerlingen moeten aangeven wat het pad van een object met een horizontale snelheid zal zijn onder invloed van de zwaartekracht.

De afbeelding die gebruik is in de posttest is te zien in figuur D.2b. Het juiste antwoord wordt door 88% van de leerlingen in 3Ha gekozen, dit bedraagt in 3Hc 21%.

De figuur die hoort bij vraag 8 uit de posttest is weergegeven in figuur D.2b. In beide klassen stemt 13% van de leerlingen voor het juiste antwoord. De meeste stemmen gaan naar antwoord a, 44% in 3Ha en 63% in 3Hc.



Figuur D.1: Figuren bij vraag 5 uit de pre- en posttest.



Figuur D.2: Afbeeldingen bij vraag 8 uit de pre- en posttest.

De resultaten bij opgave 11 van de pre- en posttest zijn weergegeven in tabel C.11. Er wordt gevraagd de kracht die op een voertuig werkt te benoemen, er wordt door een persoon aan het voertuig getrokken.

In beide klassen stemt ruwweg de helft van de leerlingen tijdens de pretest voor de optie dat de auto geen kracht uitoefent. Ongeveer 20% van de leerlingen in beide klassen geeft het correcte antwoord waarin beide krachten even groot zijn.

In de posttest stemt ongeveer een kwart van de leerlingen uit 3Ha op het juiste antwoord, in 3Hc is dit 13% van de leerlingen. Wat opvalt is dat meer leerlingen voor optie a kiezen, het gewicht van de vrachtwagen.

D.2.2 Resulterende krachten: SO

De resultaten bij de vragen die aansluiten bij het thema resulterende krachten zijn te vinden in tabel D.6.

In opgave 12 moeten de leerlingen de resulterende kracht en de richting waarin deze werkt bepalen. Aan de resultaten is te zien dat beide klassen hier ongeveer 80% van de punten scoren. In de antwoorden wordt veel met de formule voor voortstuwende en tegenwerkende krachten gewerkt terwijl er sprake is van een statische situatie.

In opgave 14 moeten de leerlingen de normaalkracht en zwaartekracht op een doos die op een schuine helling staat tekenen. In 3Ha is de gemiddelde score 57%, ten opzichte van

Tabel D.6: Resulterende krachten: gemiddelde score(X), standaard deviatie(sd) en p -waarde per opgave over de 'Resulterende krachten' uit de schriftelijke overhoring. In 3Ha(A) geldt $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$. In de onderste rij van de tabel is de totaalscore voor dit onderwerp, per klas gegeven. De maximale score bedraagt 3 punten.

Opgave en onderwerp	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
12. Fres en richting	0,76	0,19	0,80	0,27	0,60
14. Normaalkracht	0,57	0,30	0,42	0,32	0,13
15b. Krachten optellen	0,50	0,37	0,55	0,36	0,68

42% in 3Hc.

De meest gemaakte fout bij deze opgave is het aangrijpingspunt van de normaalkracht in het zwaartepunt tekenen. Ook de richting van de normaalkracht wordt verkeerd getekend.

In opgave 15b, is het de bedoeling dat de leerlingen de resulterende kracht op een afremmende trein uitrekenen. De beide klassen halen ongeveer de helft van de punten. De meeste leerlingen beschouwen de rolweerstand als voortstuwende kracht. Verder is te zien dat de weerstandkrachten wel bij elkaar worden opgeteld worden, een voortstuwende kracht van dezelfde grootte wordt vervolgens gebruikt om op een resulterende kracht van $0N$ uit te komen.

D.3 Kracht en beweging

In tabel D.7 zijn de resultaten te zien bij de vragen uit de pre- en posttest die gaan over kracht en beweging. In beide testen zijn vijf punten te behalen.

Het gemiddelde aantal punten in 3Ha bij de pre-test bedraagt 49%. In 3Hc is het punten aantal 2,84 dit komt overeen met een score van 57%.

In de resultaten bij de posttest is te zien dat het punten aantal 2,63 bedraagt, Dit is een score van 53%. Klas 3Hc haalt 1,63 punten, 33% van de vragen worden daarmee correct beantwoord.

Tabel D.7: Kracht en bewegen: Gemiddelde score(X), standaard deviatie (sd) en p -waarde van de vragen over kracht en bewegen uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C). Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. De maximale score bedraagt 5 punten.

	X(A)	ds(A)	X(C)	ds(C)	p
prétest	2,47	0,717	2,84	0,958	0,20
posttest	2,63	1,5	1,63	1,204	0,05

De totaalscores bij het SO zijn te zien in tabel D.8. In het SO kunnen de leerlingen maximaal een somscore van vijf punten

halen.

Aan de resultaten is te zien dat 3Ha met een gemiddeld punten aantal van 2,73; 55% van de opgaven correct afrond. 3Hc haalt met gemiddeld 2,43 punten een score van 49% op het onderwerp kracht en bewegen.

Tabel D.8: Kracht en bewegen: totaalscore over alle vragen die horen bij kracht en bewegen uit het so. Het gemiddelde aantal punten (X), de standaard deviatie(sd) en p -waarde zijn te zien. In 3Ha(A) geldt $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$. De maximale score bedraagt 5 punten.

	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
Totaal score	2,73	0,93	2,43	0,87	0,29

D.3.1 Kracht en beweging: pre- en posttest

Vraag 3 uit de pre- en posttest gaat over evenwicht bij touwtrekken en armpjeddrukken. De resultaten bij deze vraag zijn te zien in tabel C.3.

In de pretest halen de leerlingen uit 3Hc een gemiddelde score van bijna 90%, bij 3Ha is dit iets lager met 76%. In de posttest kiest 44% van de leerlingen uit 3Ha voor het juiste antwoord tegenover 19% uit 3Hc. Het antwoord dat in beide klassen de meeste stemmen krijgt, met 75% in 3Hc en 56% in 3Ha, is dat er geen beweging is wanneer de krachten bij het armpje drukken even groot zijn.

In tabel C.4 worden de resultaten weergegeven bij vraag 4 van de pre- en posttest. De antwoordmogelijkheden zijn vergelijkbaar tussen beide testen. In de opgave wordt de kennis over resulterende krachten bij een constante snelheid getest.

Het correcte antwoord krijgt bij de pretest 24% van de stemmen in 3Ha en in 3Hc 21% van de stemmen. Bij de posttest krijgt het correcte antwoord meer stemmen, in beide klassen is dit 38%. De meeste stemmen gaan in beide klassen naar antwoord c, de tegenwerkende krachten zijn kleiner dan de voortstuwende krachten.

De resultaten bij vraag 6 zijn weergegeven in tabel C.6. De vraag gaat over een omlaag gerichte beweging met constante snelheid. Het juiste antwoord is b, beide krachten moeten even groot zijn.

In 3Hc stemt bijna 60% van de leerlingen voor het juiste antwoord, ten opzichte van 20% in 3Ha. De posttest gaat over een vallende kokosnoot. In 3Ha stemt 63% van de leerlingen op het juiste antwoord, in tegenstelling tot 3Hc, waar nu 40% van de leerlingen het juiste antwoord kiest. In tegenstelling tot de pretest zijn er nu relatief veel leerlingen die denken dat er geen krachten omhoog aanwezig zijn.

In tabel C.7 staat welke antwoorden de leerlingen hebben gekozen bij vraag 7. Deze vraag gaat over de krachten die

werken op een bal die door de lucht beweegt.

Voordat het hoofdstuk begonnen is hebben de meeste leerlingen uit 3Ha (53%) gestemd op het antwoord waarbij de rolweerstand wordt genoemd. Aan het einde van het hoofdstuk is te zien dat in 3Ha 63% op het juiste antwoord stemt ten opzichte van 31% in 3Hc.

De resultaten bij vraag 9 over voortstuwende en tegenwerkende krachten zijn gegeven in tabel C.9. In de pretest moeten de leerlingen aangeven wat de rol van de windkracht in twee situaties is. 88% van de leerlingen in 3Ha stemt voor het juiste antwoord ten opzichte van 84% van de leerlingen in 3Hc.

De posttest gaat over de rol van de zwaartekracht in twee verschillende situaties. In 3Ha stemt 56% van de leerlingen voor het juiste antwoord, in 3Hc is dit aantal 38%. Het antwoord waarin de zwaartekracht zowel bij skiën als bij vliegen als tegenwerkende kracht wordt gezien krijgt de meeste stemmen (31% in 3Ha en 25% in 3Hc).

D.3.2 Kracht en beweging: SO

In tabel D.9 zijn de scores van het SO te zien bij de opgaven die gaan over 'Kracht en bewegen.'

In vraag 13a wordt de leerlingen gevraagd de voortstuwende-

Tabel D.9: Kracht en bewegen: Gemiddelde score(X), standaard deviatie(sd) en p -waarde per opgave bij het thema kracht en bewegen uit de schriftelijke overhoring. In 3Ha(A) geldt $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$.

Opgave en onderwerp	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
13a. Herkennen Fv en Ft	0,75	0,39	0,68	0,47	0,60
13b. F_{res} en beweging	0,31	0,42	0,38	0,43	0,62
15c. F_{res} en beweging	0,53	0,32	0,35	0,40	0,14
16a. F_{res} en beweging	0,54	0,41	0,42	0,32	0,32
16b. Type beweging bepalen	0,61	0,50	0,60	0,50	0,95

en tegenwerkende krachten op een vallende bal te noemen. Er is te zien dat klas 3Ha met 75% van de punten gemiddeld hoger scoort dan 3Hc waar 68% van de punten wordt gescoord. Fouten die voorkomen zijn onder andere het noemen van de normaalkracht, windkracht of rolweerstand als tegenwerkende kracht. In één geval wordt de spierkracht als voortstuwende kracht wordt genoemd.

In de tekst bij opgave 13b wordt gevraagd om uit te leggen wat de resulterende kracht is bij een bal die met constante snelheid valt. In 3Hc behalen de leerlingen gemiddeld 38% van de punten terwijl dit in 3Ha 31% is. De leerlingen noemen onder andere dat de resulterende kracht groter moet zijn dan 0N omdat de honkbal vooruit beweegt (misconcept 3e). In een aantal antwoorden verzinnen de leerlingen een waarde voor de tegenwerkende kracht of geven aan dat deze

niet bekend is, dus moet de resulterende kracht gelijk zijn aan $0N$.

In vraag 15c, gaat over de beweging die een trein maakt bij het binnenrijden van een station, deze beweging is vertraagd. Klas 3Ha behaalt gemiddeld 53% van de punten, tegenover 35% van de punten in 3Hc.

Het foutieve antwoord dat het meeste voorbij komt is een versnelde beweging. Als motivatie wordt gegeven "omdat de trein vooruit beweegt." Veel antwoorden worden fout gerekend omdat leerlingen de terminologie niet beheersen, zo komen een "voortstuwende," "tegenstuwende" en "tegenwerkende" beweging regelmatig voorbij in de antwoorden. Wat opvalt is dat er leerlingen zijn die het juiste antwoord onderbouwen met het argument dat een trein normaalgesproken afremt wanneer deze een station binnen rijdt.

In vraag 16a wordt gevraagd de voortstuwende kracht te berekenen wanneer de tegenwerkende- en resulterende kracht bekend zijn. De leerlingen moeten een formule, berekening en antwoord geven. De gemiddelde score is in 3Ha 54% van de punten, terwijl in 3Hc 42% van de punten wordt behaald. De meest gemaakt fout in de beide klassen is dat de tegenwerkende kracht van de resulterende kracht afgehaald wordt.

Opgave 16b vraagt het type beweging dat wordt uitgevoerd wanneer de resulterende kracht groter dan $0N$ is. In beide klassen halen de leerlingen ongeveer 60% van de punten. Een aantal leerlingen die de opgave fout hebben, geven als antwoord een "voortstuwende beweging." In enkele gevallen wordt het antwoord constante beweging gegeven. Constante snelheid, vertraagde beweging komen beide één keer voor, ook wordt de beweegrichting genoemd zonder het type beweging te noemen.

D.4 Eindresultaten

In tabel D.10 is de totale score voor beide klassen op de gehele pre- en posttest te zien. De leerlingen kunnen op beide testen maximaal 11 punten verdienen.

In de pre-test is te zien dat de leerlingen in 3Ha gemiddeld 6,71 punten behalen, 61% van de vragen wordt daarmee correct beantwoord. In 3Hc halen de leerlingen gemiddeld 6,16 punten, dit komt overeen met een score van 56%.

In de posttest is dit verschil tussen 3Ha en 3Hc groter, 3Ha beantwoordt hier gemiddeld 6,5 vragen correct dit is een score van 59%, terwijl dit bij 3Hc 4,88 vragen zijn oftewel 44%.

In tabel D.11 is de totale score bij het gehele SO per klas te zien. De maximale score bedraagt hier 100 punten. Klas 3Ha behaalt 63% van de punten, 3Hc 61% van de punten.

Tabel D.10: Pre- en posttest: Gemiddelde score(X), standaard deviatie (sd) en p -waarde voor alle opgaven uit de pre- en posttest. Voor de pretest geldt $n = 17$ in 3Ha(A) en $n = 19$ in 3Hc(C). Voor de posttest geldt $n = 16$ in 3Ha en 3Hc. De maximale score bedraagt 11 punten.

	X(A)	ds(A)	X(C)	ds(C)	p
prétest	6,71	1,53	6,16	1,68	0,31
posttest	6,50	2,45	4,88	2,19	0,06

Tabel D.11: SO: gemiddelde score(X), standaard deviatie(sd) en p -waarde voor de eindcijfers van het gehele SO. In 3Ha(A) geldt en $n = 18$ en in 3Hc(C) $n = 20$. Het maximale aantal punten is 100.

	X (A)	ds (A)	X (C)	ds (C)	P
Totaal score SO	62,90	10,15	61,35	14,01	0,70

Natuurkunde	Vellesan college Schooljaar 2018-2019
-------------	--

Titel:	Krachten Versie A
Hoofdstuk:	Bijspijkerhoofdstuk krachten
Klas:	3H
Docent:	Wout Cijssouw

Naam leerling:	
Datum toets afname:	10 December 2018

Schatting cijfer door leerling:	
Berekening cijfer:	$(\text{aantal punten}/56) \cdot 9 + 1$
Behaalde punten:	
Cijfer:	

Toegestane hulpmiddelen: <i>rekenmachine, potlood, geodriehoek</i>
--

Toelichting: <i>Bij iedere rekenopgave geldt de volgende regel:</i> <i>Noteer altijd eerst de formule, daarna de uitwerking, het antwoord en de eenheid.</i> <i>Alleen een antwoord levert geen punten op.</i> <i>Beantwoord altijd zo volledig mogelijk en licht je antwoord toe.</i> <i>Gebruik de juiste natuur- en scheikundige termen.</i>

Opmerkingen door surveillant of leerling:
Lengte van de toets: te lang / goed / te kort
Onduidelijke figuren / tabellen ?
Onduidelijke vragen ?
Overige opmerkingen:

© J.W. Cijssouw sectie natuurkunde Vellesan college
--

Veel succes!

Leervragen (11p)

1. Geef de definitie van de resulterende kracht (2p)

2. Noem een manier waarop een fietser zijn luchtweerstand kan verminderen (1p)

3. Geef de formule voor het berekenen van de zwaartekracht en leg uit wat de symbolen betekenen. (3p)

4. Welke drie effecten kan een kracht op een voorwerp hebben (3p)

5. Een voorwerp kan op twee manieren van vorm veranderen, welke manieren zijn dat en wat is het verschil? (2p)

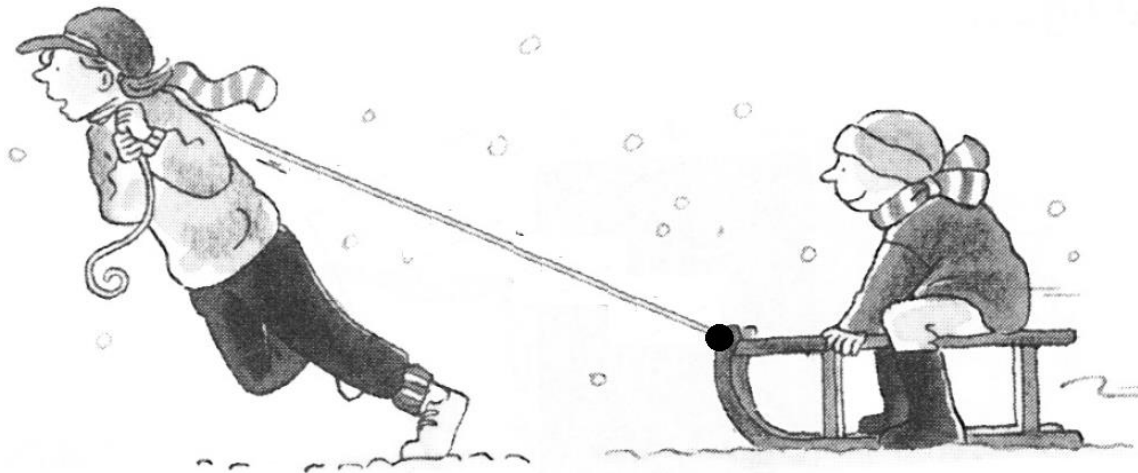
Toepassingsvragen (45p)

6. Een veer wordt 3,2 cm uitgerekt bij een kracht van 6,5 N. Bereken de veerconstante van deze veer. (4p)

7. Een doos eieren van 875g staat op het aanrecht. Bereken de zwaartekracht die op de doos met eieren werkt. (4p)

Zie volgende zijde

8. In figuur 1 zie je Jonas, hij trekt door middel van een touw aan een slee. De spankracht in het touw is 430N.
Teken de spankracht in het touw, gebruik een krachtenschaal van $100\text{N} \triangleq 1\text{cm}$. (2p)



Figuur 1: Jonas trekt aan een slee

9. De conciërge sleept een doos met papier met behulp van een touw over de vloer, zoals je in figuur 2 kan zien. De doos beweegt versneld naar rechts.
Teken alle krachten die op de doos werken, gebruik hiervoor dezelfde schaal (let op, de exacte grootte maakt niet uit). Geef bij iedere pijl aan om welke kracht het gaat. (4p)



Figuur 2: Touw bevestigd aan een doos, de doos staat op een vlakke ondergrond.

Zie ommezijde

10. Leg uit waar het zwaartepunt moet liggen zodanig dat de breakdancer in figuur 3 stabiel op zijn hoofd kan staan. Geef dit ook aan in de figuur. (3p)



Figuur 3: Breakdancer die op zijn hoofd staat.



Figuur 4: Abseilen

11. In figuur 4 zie je Frank die even pauze houdt (stil hangt) tijdens het abseilen, de zwaartekracht op Frank is 550N.

a) Bereken de massa van Frank. (4p)

b) Welke kracht(en) werken er nog meer op Frank? (1p)

12. Op een voorwerp werkt een kracht van 140N naar rechts en een kracht van 260N naar links.
Bereken de resulterende kracht, in welke richting werkt deze? (3p)

Zie volgende zijde

13. In afbeelding zie je een honkbal die met een constante snelheid naar de aarde toe valt. De zwaartekracht op de honkbal bedraagt 2N.

a) Wat zijn de voortstuwende en tegenwerkende krachten op de honkbal? (2p)

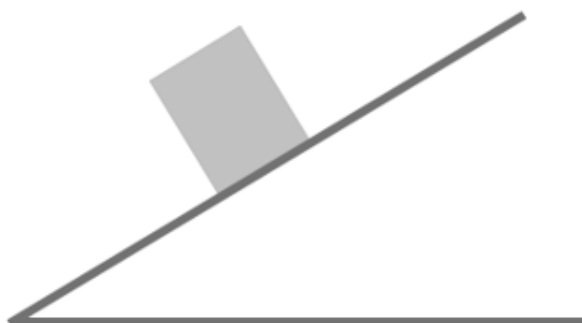
voortstuwend:
tegenwerkend:



Figuur 5: Een vallende honkbal

b) Leg uit hoe groot is de resulterende kracht op de honkbal is. (2p)

14. De doos van de conciërge staat nu stil op een schuine helling zoals in figuur 6 te zien is. De zwaartekracht op de doos bedraagt 200N, de normaalkracht 175N. Teken in figuur 6 de zwaartekracht en normaalkracht op de doos, kies zelf een geschikte krachtschaal. Laat zien hoe je bij de lengtes van je pijlen komt. (3p)



Figuur 6: Doos met papier op een schuine helling

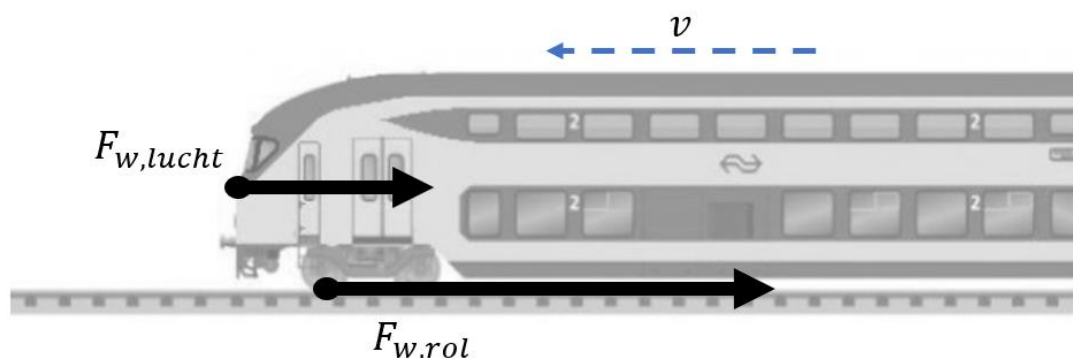
Zie ommezijde

15. In afbeelding 7 zie je de intercity van 12:05 uur binnenrijden op station Haarlem. De krachten die op de trein werken zijn aangegeven in de tekening, de krachtschaal is hierbij $1\text{cm} \triangleq 12\text{ kN}$. De richting waarin de trein beweegt is aangegeven met de onderbroken pijl.

a) Bereken met behulp van de pijlen in de tekening de grootte van de luchtweerstand en rolweerstand (4p)

b) Bereken de resulterende kracht op de trein. *Wanneer je geen antwoord bij a hebt, gebruik dan $F_{w,rol} = 75\text{ kN}$ en $F_{w,lucht} = 25\text{ kN}$ (dit is niet het goede antwoord op a)* (3p)

c) leg uit welk type beweging de trein uitvoert (2p)



Figuur 7: De intercity naar Haarlem

16. Op een vogel werkt een tegenwerkende kracht van 45N. De resulterende kracht bedraagt 95N.

a) Bereken de voortstuwende kracht. (3p)

b) wat voor een beweging voert de vogel uit? (1p)

Einde van dit SO! Zie volgende zijde

Reflectie SO

Wat voor cijfer dacht je dat je zou halen, voordat je aan het SO begon ?

Wat voor cijfer dacht je dat je zou halen na afloop van de toets ?

Hoeveel tijd heb je aan het SO besteed ?

Hoe was je concentratie tijdens het SO?

Reflectie op het leren

Heb je moeilijke of belangrijke opgaven uit het werkboek herhaald ?

Heb je een samenvatting van de theorie gemaakt ?

Heb je de opgaven uit het werkboek serieus nagekeken en verbeterd ?

Reflectie op de handleiding

Was de theorie uit de krachtenhandleiding duidelijk?

Waren de opgaven uit de krachtenhandleiding duidelijk?

Werden er in het SO vragen gesteld die niet behandeld zijn of die je niet terug kan vinden in je tekstboek / werkboek ?

Werk je liever uit de krachtenhandleiding of vanaf het boek op je ipad?

Reflectie op de lessen

Is de uitleg van de docent over de lesstof interessant?

Ga je met plezier naar de natuurkunde lessen?

Heb je voor je gevoel genoeg uitleg / begeleiding van de docent gehad over de stof ? Zo nee, heb je er wel om gevraagd ? En zo nee, waarover had je meer uitleg willen hebben ?

Heb je tips voor je docent? Wat zou de lessen interessanter/leuker maken?

Bedankt voor het invullen van de vragenlijst!!

Bijlage F

Klas Als Team

Een activiteit die regelmatig gedaan wordt in de natuurkunde lessen op het Vellesan College is de 'Klas Als Team-activiteit.' Deze is afkomstig uit het boek van Bruggink (2017). De leerlingen werken in teams aan een aantal opdrachten zonder hulp of sturing van de docent. De leerlingen vormen zelf de teams op basis van het niveau van de opgaven, dit verschilt van eenvoudig tot moeilijk. Ook wordt van tevoren afgesproken welke groepen elkaars werk zullen nakijken zodat de opdrachten zonder fouten bij de docent terecht komen.

De activiteit neemt een lesuur in beslag, tien minuten voor het einde van de les worden de antwoorden van de klas door de docent nagekeken en besproken. Wanneer de antwoorden minder dan drie fouten bevatten is er de volgende les taart. Op de beamer wordt een timer geprojecteerd waarop de leerlingen kunnen zien hoeveel tijd er nog is.

De 'Klas Als Team-activiteit' bij deze lessenserie heeft in de les voorafgaand aan de schriftelijke overhoring plaatsgevonden. De opdrachten zijn gegeven in bijlage G.

De gemakkelijke 'A-opdrachten' zijn reproductieve opgaven waarbij de kennis over definities, formules en symbolen aan de orde komen. Daarnaast moeten de leerlingen vaardigheden toepassen zoals ze al eerder hebben gedaan. Voorbeelden zijn het herkennen van de effecten van krachten en rekenen met een krachtschaal.

In de moeilijkere 'B-opgaven' moeten de leerlingen kennis en vaardigheden toepassen. Dit is gebeurt in bekende en nieuwe situaties, zoals bij het beschrijven van de resulterende krachten op een parachutist en het tekenen van krachten op een bobslee.

De moeilijkste opgaven zijn de 'C-opgaven.' In deze opgaven worden de kennis en vaardigheden in een nieuwe situatie toegepast zoals het berekenen van de doorbuiging van een vishengel. Ook bevatten de 'c-opgaven' vragen waarbij het inzicht wordt getoetst, zoals bij het uitleggen van de oorzaak van de draaiende beweging die een bal maakt na contact met het plafond.

In de activiteit komen enkele misconcepten aan de orde, zoals 3a: *Er is geen beweging bij evenwicht van krachten*, 3d: *er is geen kracht nodig om een object naar beneden te laten bewegen*, 3h: *weerstand en/of wrijving worden niet gezien als kracht* en 2b: *de richting waarin de normaalkracht werkt wordt verkeerd gekozen*.

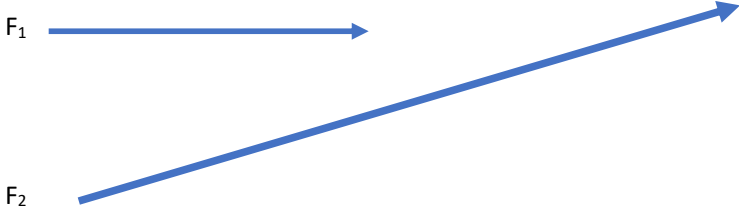
De leerlingen krijgen gedurende de activiteit kans om samen te werken en van elkaar te leren. Ervaring leert dat de

meeste leerlingen actief zullen deelnemen. De spelregels staan niet toe dat de docent meehelpt of corrigeert, dit geeft de docent de gelegenheid om mee te kijken en luisteren met de leerlingen. Hierdoor kan inzicht in de kennis en vaardigheden van de leerlingen worden verkregen. Daarnaast biedt de activiteit de mogelijkheid om tijdens de gesprekken van de leerlingen eventuele misconcepten waar te nemen.



A1 vragen

1. Hoe groot is F_2 ?

$F_1=156\text{N}$


2. Vul de onderstaande tabel in (op basis van het huidige hoofdstuk).

Grootheid	Symbool	Eenheid	Afkorting eenheid
Kracht			
		Kilogram	
			m/s^2
	C		
Uitrekking			

3. Geef de formule voor de zwaartekracht.

4. Leg in de volgende situaties uit hoe je kan zien dat er een kracht werkt.

a) Een auto rijdt weg bij een stoplicht

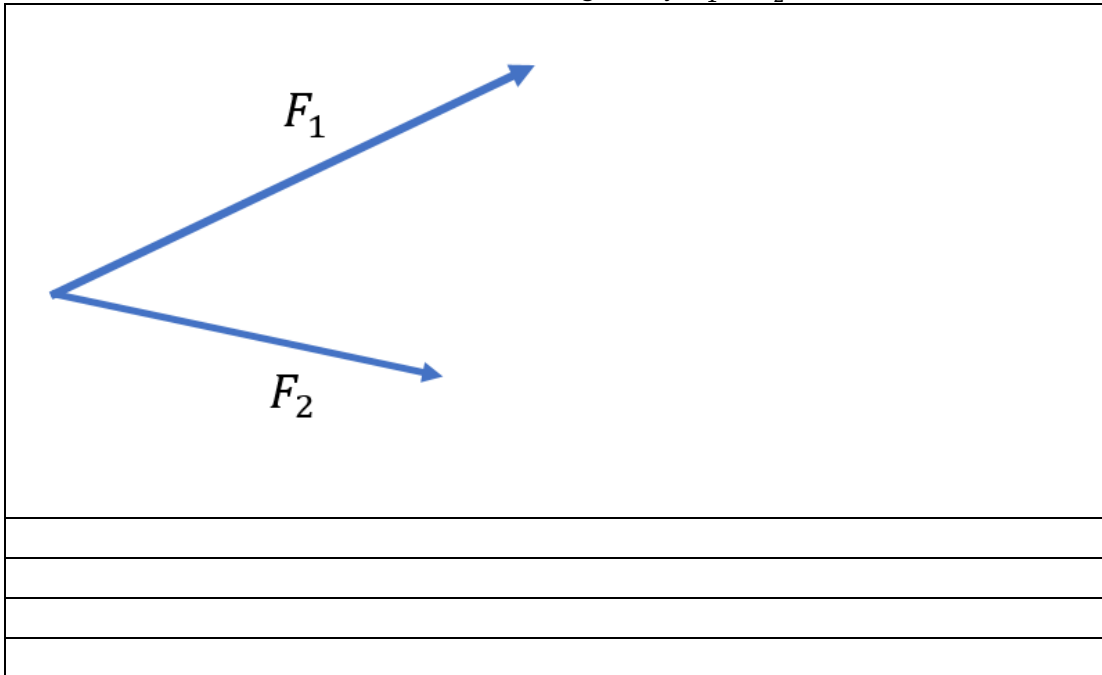
b) Een basketbal die stuitert op de ring van de basket.



A2 vragen

1. Bereken de zwaartekracht op een sinaasappel van 335 gram.

2. De krachtenschaal hieronder is $1\text{ cm} \triangleq 95\text{ N}$. Hoe groot zijn F_1 en F_2 ?



3. Leg uit wat de normaalkracht is.

4. a) Noem drie verschillende weerstandskrachten met hun afkorting.

- b) Geef voor iedere weerstandskracht een manier om de weerstand te verminderen.



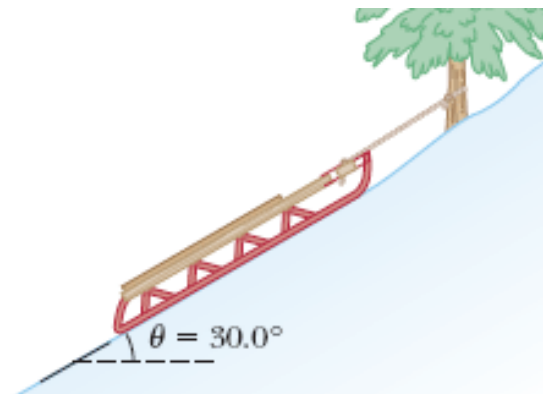
B1 vragen

1. Een boek ligt op tafel en weegt 460g. Hoe groot is de normaalkracht. Maak ook een tekening met de situatie en teken hierin ALLE krachten die op het boek werken.

Tekening

2. Aan een veer hangt een gewicht van 4,75kg. De veerconstante is 9,3N/cm. Wat is de uitrekking van de veer?

3. In de onderstaande afbeelding zie je een stilstaande slee op een schuine helling. De slee is met een touw aan een boom vastgeknoopt. Teken de krachten die op de slee werken, geef aan om welke krachten het gaat.





B2 vragen

1. Nienke oefent een spierkracht van 320N op een expander uit. De expander is 1,0m lang als er geen kracht op werkt. De expander rekt door de kracht van Nienke 2cm uit. Bereken hoe ver de veer uitrekt als Paul er aan trekt met een kracht van 800N.

2. Een parachutist met een zwaartekracht van 738N springt uit een vliegtuig. Zodra hij uit het vliegtuig springt begint hij te versnellen.

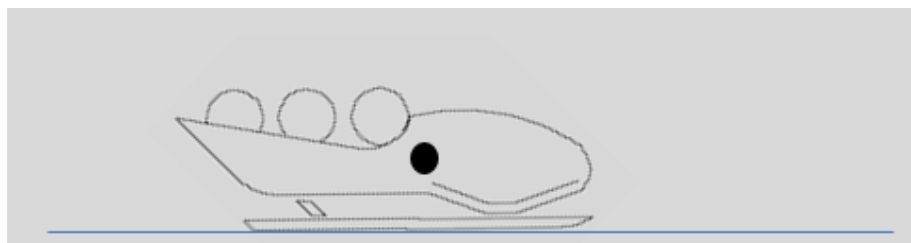
a) Welke krachten werken er op de parachutist zodra hij het vliegtuig verlaat? Hoe groot is de resulterende kracht?

b) Wanneer de parachute open gaat wordt de beweging van de parachutist afgeremd, wat geldt er dan voor de grootte van de resulterende kracht?

3. In de onderstaande afbeelding zie je een bobslee, deze bobslee is op een vlak stuk ijs aangekomen en verliest daardoor snelheid. De bobslee beweegt naar rechts.

a) Geef de richting van de snelheid en de versnelling aan in de tekening.

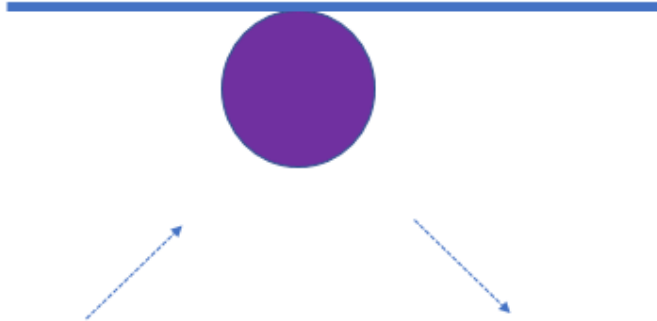
b) Teken en benoem alle krachten die op de bobslee werken. Welke krachten zijn voortstuwend? Welke tegenwerkend? En welke hebben geen effect op de beweging?





C1 vragen

1. In een huiskamer schiet Ravindra een voetbal tegen het plafond. In de figuur hieronder is de bal getekend op het moment dat deze weerkaatst wordt. De pijlen geven de snelheid vóór en na de botsing weer. Vóór de botsing maakte de bal geen draaibeweging; na de botsing wel (ten gevolge van de wrijving met het plafond). Teken alle krachten op de bal (niet op het plafond!). Zet bij elke pijl het symbool voor deze kracht.



2. Een vis van 500 gram hangt (stil) aan een hengel. Door de massa van de vis buigt de vishengel een beetje door. Dit zou je kunnen vergelijken met een veer die uitrekt. De hengel heeft dan een veerconstante van 0,5 N/cm.

a) Bereken hoeveel cm de hengel uitrekt.

b) Teken de krachten op de vis in de tekening.





C2 vragen

In de onderstaande figuur zie je een bal die door de lucht vliegt. Teken de krachten die op de bal werken in de punten A, B en C. Teken de krachten op dezelfde schaal (maar de exacte grootte maakt niet uit). Geef met behulp van gestippelde pijlen aan wat de richting van de snelheid en de versnelling is in iedere situatie.

1. A) Teken de krachten op de bal in punt a

b) Leg uit of de bal versneld, vertraagd of met een constante snelheid beweegt.



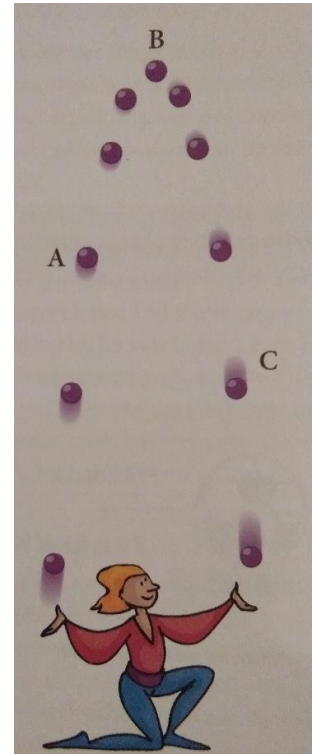
2. a) Teken de krachten op de bal in punt b

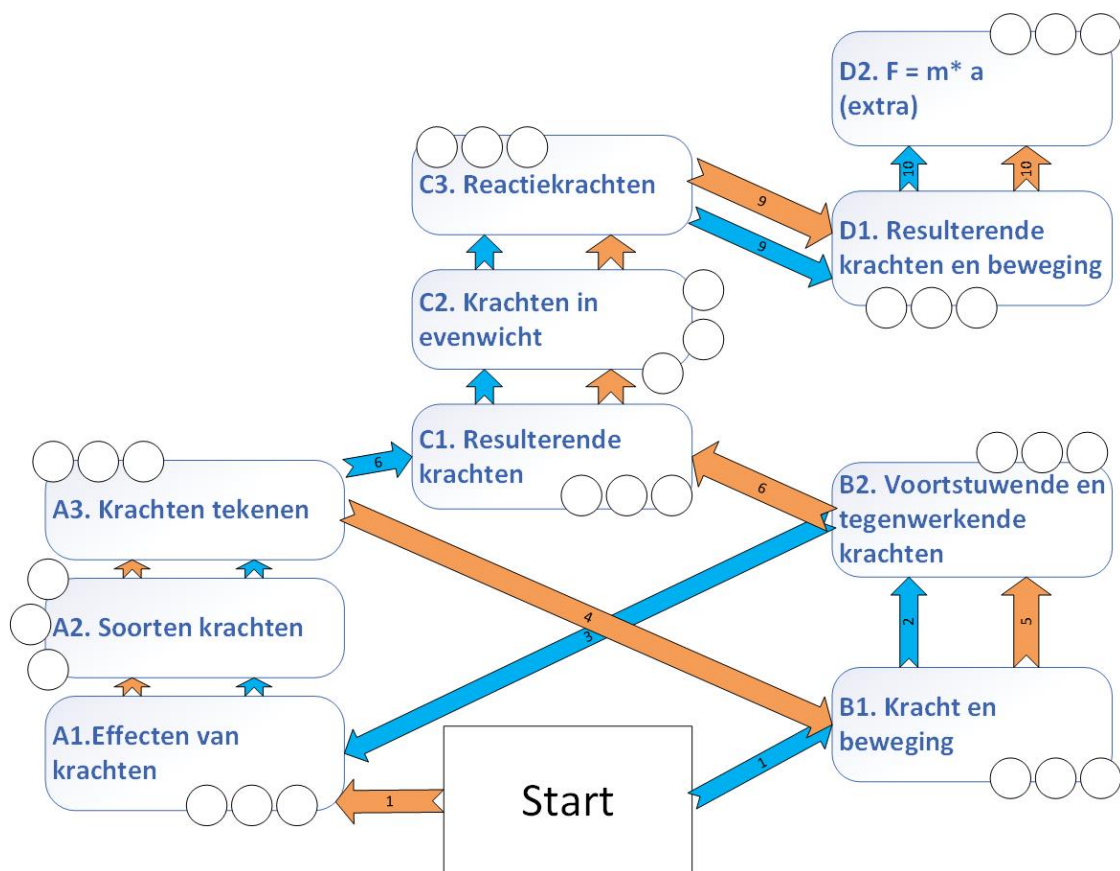
b) Leg uit of de bal versneld, vertraagd of met een constante snelheid beweegt.



3. a) Teken de krachten op de bal in punt c

b) Leg uit of de bal versneld, vertraagd of met een constante snelheid beweegt.





Figuur H.1: Voorstel voor de skilltree, in de witte vlakken staat het onderwerp per les. Er zijn twee mogelijke routes, de blauwe route en de oranje route. Het onderwerp C3 moet nieuwe ontwikkeld worden. Onderwerp D2 zit al in de vwo-stof en zal ook voor de havo ter beschikking komen. Binnen de drie cirkels die bij ieder skilltree element staan krijgen de leerlingen een stempel wanneer ze: 1) een aantal reproductieve vragen goed hebben beantwoord, 2) Een aantal rekenopgaven correct hebben afgerond en 3) Een inzichtsvraag correct hebben afgerond.

Literatuur

- Adair, A. M. (2013). *Student Misconceptions about Newtonian Mechanics: Origins and Solutions through Changes to Instruction* (Academisch proefschrift). The Ohio State University.
- Bennett, J., Gräsel, C., Parchmann, I. & Waddington, D. (2005). Research report. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1521-1547. Verkregen van <https://doi.org/10.1080/09500690500153808> doi: 10.1080/09500690500153808
- Bowen, R. S. (2017). Understanding by design. Verkregen van <https://cft.vanderbilt.edu/understanding-by-design/>
- Bruggink, M. (2017). *Activerende werkvormen voor bèta-docenten*. Garant.
- Byman, R., Lavonen, J., Juuti, K. & Meisalo, V. (2012, December/2012). Motivational orientations in physics learning: A self-determination theory approach [Original article]. *Journal of Baltic Science Education*, 11. Verkregen van <http://journals.indexcopernicus.com/abstracted.php?level=5&icid=1023450>
- Clement, J. (1981, 03). Students' misconceptions in introductory mechanics. *American journal of physics*, 50. doi: <https://doi.org/10.1119/1.12989>
- Crouch, C. H. & Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American journal of physics*, 69(9), 970-977.
- Docktor, J. L., Strand, N. E., Mestre, J. P. & Ross, B. H. (2015, Sep). Conceptual problem solving in high school physics. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 11, 020106. Verkregen van <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.11.020106> doi: 10.1103/PhysRevSTPER.11.020106
- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien, A. (2000). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Driver, R., Newton, P. & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312. Verkregen van <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291098-237X%28200005%2984%3A3%3C287%3A%3AAID-SCE1%3E3.0.CO%3B2-A> doi: 10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A
- Ferreira, A. (2014, November). Investigation of students' knowledge application in solving physics kinematics problems in various contexts.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using ibm spss statistics* (4th dr.). Sage Publications Ltd.
- Frederik, I. (2015). *Show de fysica*. Kenniscentrum Onderwijs en Opvoeding.
- Gibbs, K. (2011). *The new resourceful physics teacher* (Dl. 1). Schoolphysics publishing Somerset.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. Verkregen van <https://doi.org/10.1080/09500690600702470> doi: 10.1080/09500690600702470
- Goldberg, F., Otero, V. & Robinson, S. (2010). Design principles for effective physics instruction: A case from physics and everyday thinking. *American Journal of Physics*, 78(12), 1265-1277. Verkregen van <https://doi.org/10.1119/1.3480026> doi: 10.1119/1.3480026
- Gunstone, R. F. & White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65(3), 291-299. Verkregen van <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.3730650308> doi: 10.1002/sce.3730650308
- Halim, L., Kia Yong, T. & Meeran, S. (2014, 01). Overcoming students' misconceptions on forces in equilibrium: An action research study. *Creative Education*, 05, 1032-1042. doi: 10.4236/ce.2014.51117
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065. Verkregen van <https://doi.org/10.1119/1.14031> doi: 10.1119/1.14031
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhammer, G. (1992, March). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30. doi: 10.1119/1.2343497
- Hewitt, P. G. (2014). *Conceptual physics* (Dl. 12). Pearson Education Limited.
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212-218. Verkregen van https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2 doi: 10.1207/s15430421tip4104_2
- Majewski, R., Massolt, J., Bouwens, R., de Boeij, P., Moraal, M., Litjens, K., ... Vos, D. (2016). *Overal nask* (Dl. 5). Noordhoff Uitgevers.
- McCloskey, M. (1983, 01). Naive theories of motion. *Mental Models*.
- Minstrell, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *The Physics Teacher*, 20(1), 10-14. Verkregen van <https://doi.org/10.1119/1.2340924> doi: 10.1119/1.2340924
- Poorthuis, H., Diederens, P., Steenberg, E. v. & Verhagen, P. (2013). *Overal natuurkunde* (Dl. 5). Noordhoff Uitgevers.

- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68 - 78. Verkregen van <http://ezproxy2.utwente.nl/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=pdh&AN=2000-13324-007&site=ehost-live>
- Sonneveld, W. (2012). *Overal natuurkunde*. Noordhoff Uitgevers.
- Trumper, R. & Gorsky, P. (1996, jul). A cross-college age study about physics students conceptions of force in pre-service training for high school teachers. *Physics Education*, 31(4), 227-236. doi: 10.1088/0031-9120/31/4/021
- Van den Berg, E. & Westbroek, H. (2014, April). Formatieve toetsing en feedback tijdens de les. *NVOX*, 181-182.
- van den Berg, E. & Emmett, K. (2007, 10). Krachtendiagrammen, begripsproblemen en snelle feedback. *NVOX*, 354-356.
- Van der Donk, C. & Van Lanen, B. (2016). *Praktijkonderzoek in de school* (3e herziene druk dr.). Coutinho (Bussum).
- Vegting, P. (1986). Kracht, een moeilijk begrip. *NVON Maandblad*, 26-31.
- Verhagen, P. (N.B.) Nova. Malmberg.
- Wilson, F., Evans, S. & Old, S. (2015). Context led science courses: A review. *Research Matters: A Cambridge Assessment publication*(19), 7-13. Verkregen van http://www.cambridgeassessment.org.uk/our-research/all-published-resources/research-matters/copy_of_rm-19/
- Young, H. D. & Ford, A. L. (2015). *University physics* (Dl. 14). Pearson Education Limited.