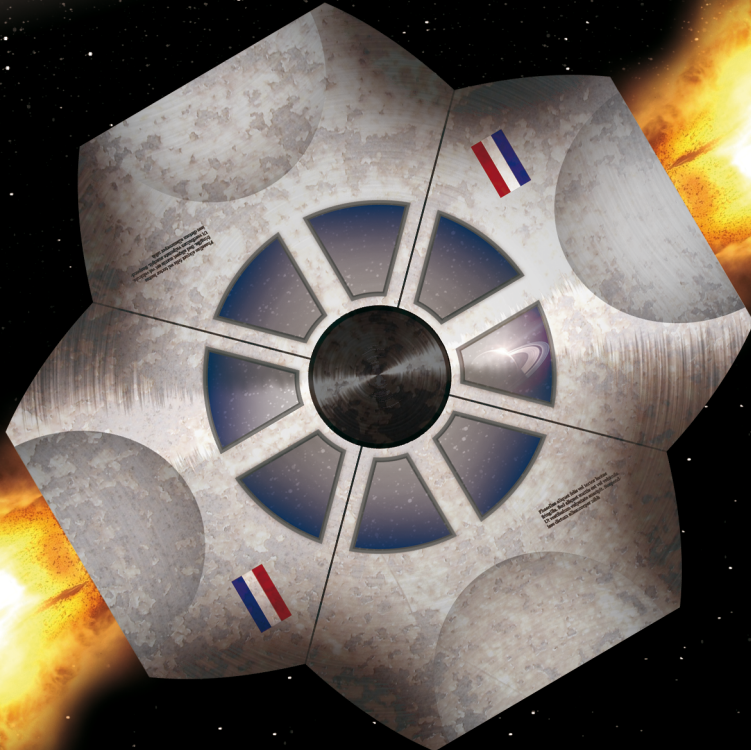


MISCONCEPTEN & EDUCATIEVE GAMES

M.H.H. HOEVENAAR

$$\sum \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$



Misconcepten & Educatieve Games

Masterthesis

© M.H.H. Hoevenaar

Utrecht, 2010

Auteur: ing. M.H.H. Hoevenaar
Begeleider: dr. M.C. Koops
Layout: gegenereerd door L^AT_EX
Omslag: ing. J.J.H. v.d. Hoeven
<http://www.bugbyte.nl>



Print: Ipskamp Drukkers B.V., Enschede
<http://www.ipskampdrukkers.nl>



Dit onderzoek is gesponsord door:
The Jun Fan Jeet Kune Do Academy
<http://www.jfjkd.nl>

ISBN 978-90-9025735-8

© Copyright (2010) M.H.H. Hoevenaar

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur is overnemen, kopiëren, gebruiken of op enige wijze reproduceren van deze uitgave, of gedeelten ervan, verboden. Voor aanvragen met betrekking tot, of informatie in verband met, het overnemen en/of gebruik en/of reproductie van (gedeelten uit) deze uitgave, wendt u zich tot:

M.H.H. Hoevenaar
m.hoevenaar@jfjkd.nl

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur is vereist voor het aanwenden van de in dit afstudeerwerk beschreven (originele) methoden, producten of (computer)programma's voor industrieel, educatief of wetenschappelijk nut.



*‘Using no way as way,
having no limitation as limitation.’*

Bruce Lee

Samenvatting

Over misconcepten is bekend dat deze resistent zijn tegen onderwijs, maar de mogelijke rol van educatieve games hierin is nog onduidelijk. Dit onderzoek bestudeert hoe een positieve bijdrage kan worden geleverd aan het elimineren van misconcepten, met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica, door middel van het ontwikkelen en op diverse wijzen implementeren van een educatieve game.

Het serious game lemniscaat model van Koops (2010) biedt visualisatie en inzicht op het gebied van leerprocessen in combinatie met educatieve games, hetgeen de ontwikkeling van een specifieke educatieve game en de hierbij gebruikte externe interventies vergemakkelijkt.

De game *Space Challenge* is specifiek voor dit onderzoek ontwikkeld, met als doel het bieden van cognitieve conflicten, waardoor er conceptuele verandering plaatsvindt. *Space Challenge* biedt alternatieve ervaringen aan die concurreren met alledaagse ervaringen. Spontane concepten, die zodoende worden verkregen, worden via externe interventies getransformeerd naar formele concepten die de aanwezige misconcepten verdringen. De FCI maakt het mogelijk om conceptuele verandering te meten.

Dit onderzoek toont aan dat het inzetten van *Space Challenge* significant bijdraagt aan het elimineren van misconcepten met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica.

Als primaire suggestie voor uitbreiding van dit onderzoek stel ik een implementatie van een educatieve game voor, waarbij studenten vaak in en uit de flowstate raken. Hierbij zouden externe interventies ontwikkeld moeten worden, waarbij studenten die uit de flowstate raken zelfstandig hierin terug kunnen keren. De mate waarin de ontwikkelde externe interventies in staat zijn de studenten zelfstandig terug te laten keren in de flowstate als functie van conceptuele verandering zou dan bestudeerd kunnen worden.

Inhoudsopgave

Blz.

1	Onderwerp & Praktijkvraag	1
1.1	Probleemstelling	1
1.2	Noodzaak voor conceptuele verandering	2
1.3	Game-ervaringen als alternatief voor reële ervaringen	3
1.4	Kenmerken van educatieve games	3
1.5	Meten van conceptuele kennis	4
1.6	Onderzoeksvraag	5
2	Praktijkverkenning	7
2.1	Visie docenten	7
2.2	Visie studenten	8
2.3	Eigen visie	10
3	Theoretisch kader met betrekking tot Conceptuele Kennis	11
3.1	Definitie	11
3.2	Voorkennis	11
3.3	Conceptuele moeilijkheden	12
3.4	Spontane concepten & formele concepten	12
3.5	Ervaringscognitie, reflectieve cognitie & leerstijlen	13
3.6	Cognitieve stijl, conceptuele kennis & probleem- oplossend vermogen	13
3.7	Invloed misconcepten op leerproces	14
3.8	Resistentie van misconcepten tegen traditionele educatie	15
3.9	Suggesties ter verwezenlijking van conceptuele verandering . . .	16
4	Theoretisch kader met betrekking tot Educatieve Games	17
4.1	Definitie	17
4.2	Historie	17

4.3	Verwachtingspatroon	17
4.4	Sociale aspecten	18
4.5	Kenmerken van kwalitatief goede games	18
4.6	Niveau	20
4.7	Context	20
4.8	Leercycli in games: verschillende modellen	21
4.8.1	Game model van Kearny & Pivec (2007)	21
4.8.2	Gamecyclus van Koops (2010)	23
4.8.3	Serious game lemniscaat model van Koops (2010)	25
4.9	Motivatie & flow	26
4.10	Externe interventie	28
5	Specificering Misconcepten	29
5.1	Spontane misconcepten	29
5.2	Formaliseren misconcepten	30
5.2.1	Misconcept gebaseerd op 2e wet v. Newton	30
5.2.2	Misconcept gebaseerd op 3e wet v. Newton	31
5.2.3	Misconcepten aan het werk in praktijkvoorbeeld	31
5.3	Correcte formele concepten	32
5.3.1	Vergelijking formele concepten & misconcepten	33
5.3.2	Implicaties correcte formele concepten	35
6	Plan van Eisen	37
6.1	Beperkingen	37
6.2	Platform	37
6.3	Eisen	37
7	Ontwerp	39
7.1	Doelstelling	39
7.2	Doelgroep	40
7.3	Versies	40

7.4	Gesimuleerde omgeving	41
7.5	Feedback	42
7.6	Ruimteschip	43
7.7	Levels	45
7.7.1	Level 1	45
7.7.2	Level 2	47
7.7.3	Level 3	47
7.7.4	Level 4	49
7.7.5	Level 5	49
7.7.6	Level 6	50
7.7.7	Level 7	50
7.7.8	Volgende levels	50
7.8	Wederom beperkingen	50
8	Uitvoering Onderzoek	51
8.1	Methodiek	51
8.1.1	Groep 1 - langetermijn flowstate implementatie	51
8.1.2	Groep 2 - kortetermijn flowstate implementatie	52
8.1.3	Groep 3 - traditioneel onderwijs	54
8.2	Instrumenten ter kwantificatie van conceptuele kennis	54
8.2.1	Meetinstrument 1 - FCI	56
8.2.2	Meetinstrument 2 - schriftelijke toelichtingen	56
8.2.3	Meetinstrument 3 - vrije observatie	56
8.3	Data-acquisitie	56
8.4	Analyse	57
9	Resultaten	59
9.1	FCI-Gain	59
9.2	Extra toelichtingen	60
9.3	Vrije observatie	61
9.3.1	A4a	61
9.3.2	A4b	62

10 Analyse	63
10.1 Gaussiaanse distributie	64
10.1.1 Skewness & kurtosis	64
10.1.2 Kolmogorov-Smirnov & Shapiro-Wilk tests	67
10.2 Levene test	67
10.3 Unifactoriële variantie analyse	68
10.4 Welch & Brown-Forsythe tests	69
10.5 Post-hoc analyse	69
11 Conclusies	71
11.1 Antwoord onderzoeksvraag	71
11.2 Bespreking	72
11.3 Suggesties voor verder onderzoek	73
11.3.1 Implementatie educatieve game	73
11.3.2 Externe interventies	74
11.3.3 Meetinstrumenten	75
11.3.4 Probleemoplossend vermogen	75
Referenties	80
Appendix A Nederlandse vertaling FCI	81
Appendix B Tijdsplanning (2009/2010)	91
Nawoord	93

Lijst van figuren

Blz.

1	Leercyclus van Kolb (1984)	21
2	Gamemodel van Kearny & Pivec (2007)	22
3	Gamecyclus van Koops (2010)	23
4	Serious games lemniscaat model van Koops (2010)	25
5	Flow	27
6	Gesimuleerde omgeving	41
7	Ruimteschip	43
8	Kortetermijn flowstate	53
9	Gemiddelde FCI-score per klas	59
10	Bell-curve	64

Lijst van tabellen

1	Vergelijking formele concepten	34
2	FCI-Gains	60
3	Basisgegevens	65
4	Z-scores	66
5	Kolmogorov-Smirnov & Shapiro-Wilk tests	67
6	Levene test	68
7	Unifactoriële variantie analyse	68
8	Welch & Brown-Forsythe tests	69
9	Tukey HSD, Scheffé & Games-Howell post-hoc tests	70
10	Tijdsplanning	91

1 Onderwerp & Praktijkvraag

1.1 Probleemstelling

Het is mijn ervaring dat de meeste studenten problemen, gerelateerd aan de Newtoniaanse mechanica, oplossen door middel van het gebruik van ‘trucjes’, waarbij er voor ieder type probleem een trucje beschikbaar is. Hoewel op deze manier tal van problemen opgelost kunnen worden, heb ik het vermoeden dat er bij de student weinig daadwerkelijke begripsvorming aanwezig is. Mijn vermoeden wordt onder andere gesteund door de observatie dat studenten soms volstrekt ongeloofwaardige uitkomsten zonder aarzeling op papier zetten. Wanneer aan studenten wordt gevraagd om verdere toelichting te geven op een bepaalde aanpak c.q. uitwerking, kunnen zij doorgaans weinig zinnigs vertellen over de globale kenmerken en onderliggende principes van het probleem. Indien ik een probleem uit de, voor de student bekende, context haal, hebben veel studenten moeite de vertaalslag te maken naar de nieuwe context. Tevens merk ik op dat studenten gemakkelijk een formule gebruiken waar de gevraagde variabelen in voorkomen, zonder de geldigheidsgebieden van deze formules in acht te nemen. Tijdens het nakijken van toetsen komen er regelmatig uitwerkingen voorbij, waarbij direct getallen zijn ingevuld in formules. Daarbij valt het mij ook op dat veel studenten, direct na het aanvangen van een toets, naar de rekenmachine grijpen. Navraag bij enkele individuele studenten leert mij dat zowel wetten en formules, alsook besproken voorbeelden en situaties, vaak letterlijk uit het hoofd worden geleerd. Bovenstaande observaties en ervaringen zijn mijns inziens sterke indicatoren dat bij vele studenten specifieke begripsvorming ten aanzien van de stof simpelweg ontbreekt of in slechts zeer beperkte mate aanwezig is.

Naast het ontbreken van begripsvorming omtrent natuurkundige onderwerpen, merk ik dat veel studenten ideeën eropna houden die natuurkundig gezien gewoonweg fout zijn, waarbij het vrij weinig uitmaakt hoeveel aandacht besteed wordt aan het ombuigen van deze ideeën naar een wetenschappelijk correcte vorm. Voordat een student in de les natuurkunde terecht komt, heeft deze al behoorlijk wat jaren ervaring in de alledaagse wereld om ons heen, hetgeen een krachtige basis vormt voor sterke conceptuele ideeën over hoe de wereld in elkaar zit. Deze concepten worden gevormd om betekenis te kunnen geven aan de dingen uit het dagelijkse leven. Voorspellingen, getoetst aan deze

concepten, kunnen min of meer redelijke resultaten opleveren binnen deze beperkte context en binnen bepaalde grenzen. Het grote probleem is dat deze voorgevormde concepten vaak niet congruent zijn met de formele wetten der natuurkunde. Hoewel deze alternatieve concepten niet per definitie slecht of onbruikbaar zijn, wordt in relevante literatuur de term ‘misconcepten’ vaak gebezigd. Omwille van eenvoud en duidelijkheid wordt ook in dit onderzoek consequent de term ‘misconcepten’ gebruikt.

Uitleg, hoe correct en uitgebreid ook, verandert weinig aan de conceptuele ideeën die studenten eropna houden. Hoewel soms goede cijfers behaald worden voor een toets, blijven deze alternatieve ideeën in stand; vandaar mijn voorlopige hypothese: Misconcepten blijken behoorlijk resistent tegen traditioneel onderwijs.

In het onderwijs is het echter de bedoeling dat er betekenis wordt gegeven aan ‘alle’ mogelijke situaties, waarbij een uiteenlopende variëteit aan problemen in tal van niet-dagelijkse situaties (of wel dagelijkse situaties, doch niet slechts in de persoonlijke ervaringsfeer van de betreffende student) en/of omstandigheden opgelost kunnen worden.

1.2 Noodzaak voor conceptuele verandering

Als studenten voldoende kunnen halen, terwijl ze toch krampachtig vast blijven houden aan misconcepten, waarom bestaat er dan de noodzaak om misconcepten te elimineren of te veranderen?

Het belang van het elimineren van misconcepten is meervoudig. Studenten hoeven veel minder complexe, vaak op elkaar lijkende, oplos-algoritmes en details te onthouden, hetgeen de kans op verwarring doet afnemen en de student de mogelijkheid biedt om, ook na lange tijd, problemen in dit kennisgebied op te kunnen lossen, hetgeen met het oog op het eindexamen en eventuele vervolgopleidingen geen overbodige luxe is. Daarnaast stimuleert een goede conceptuele begripsvorming het zogenaamde lateraal denken, waarbij nuttige kennis van de ene situatie naar de andere wordt vertaald en toegepast. Ten slotte zorgt een diepgaande conceptuele kennis ervoor dat er geen discrepanties bestaan tussen hetgeen op school wordt geleerd en wat in het dagelijkse leven wordt ervaren. Mijn eigen ervaring hiermee is dat het voelt alsof alle puzzelstukjes opeens in elkaar passen.

1.3 Game-ervaringen als alternatief voor reële ervaringen

Een tweede voorlopige hypothese is dat misconcepten te elimineren (of te veranderen) zijn zodra andere concepten daarmee gaan concurreren of hier anderszijds op aansluiten. Aangezien concepten gevormd en ook veranderd kunnen worden met directe ervaringen, is het mijns inziens zaak om studenten concrete ervaringen aan te bieden welke kunnen concurreren met de ervaringen uit het dagelijkse leven. Het lijkt mij bijzonder zinvol om door middel van meerdere sensorische stimuli, zoals onder andere visuele, auditieve, tactiele, proprioceptorische, olfactorische of vestibulaire prikkels (of een combinatie daarvan), gesimuleerde ervaringen aan te bieden welke volledig in overeenstemming zijn met een correct wetenschappelijk conceptueel model. Dit zou betekenen dat een ‘alledaagse’ situatie eigenlijk zo goed mogelijk en versimpeld nagebootst wordt, met inachtneming en gebruikmaking van zowel het correcte conceptuele model alsook zoveel mogelijk authentieke zintuiglijke prikkels, teneinde een concrete ervaring te creëren welke uiteindelijk ten grondslag ligt aan conceptuele verandering.

Bij het creëren van alternatieve ervaringen, via bijvoorbeeld een rollenspel, blijft het een probleem dat er niet veilig geëxperimenteerd kan worden in een gesimuleerde ideale omgeving; de aardse omstandigheden blijven limiterend door onder andere de aanwezigheid van gravitatiekrachten, wrijvingskrachten, etc. Het uitvoeren van practica is min of meer gebaseerd op losse of geïsoleerde waarnemingen in plaats van op complete ervaringen (inclusief verhaal, context en interactie). Wat mijns inziens het dichtst in de buurt komt van reële dagelijkse ervaringen is een game. Een computergame biedt concrete ervaringen op basis van zintuiglijke waarnemingen en interactie tussen student en (gesimuleerde) omgeving. Een educatieve game kan ervaringen aanbieden welke hoogstwaarschijnlijk kunnen concurreren met de dagelijkse ervaringen, op basis waarvan bestaande misconcepten zijn gevormd, om zodoende deze misconcepten te kunnen elimineren c.q. veranderen.

1.4 Kenmerken van educatieve games

Bij het leerproces speelt zowel extrinsieke als intrinsieke motivatie een rol. Computergames worden vaak en langdurig gespeeld door de huidige generatie

studenten, terwijl zij hierin doorgaans niet door hun ouders worden aangeemoedigd, hetgeen suggereert dat er games bestaan welke een grote mate van intrinsieke motivatie teweeg brengt bij de spelers. Het grote verschil in populariteit tussen games is voor mij een indicatie dat er bepaalde eisen zijn waaraan een kwalitatief goede game moet voldoen, teneinde deze intrinsieke motivatie bij de spelers te bewerkstelligen. Ten eerste zal de context in de game relevant moeten zijn met betrekking tot het conceptuele onderwerp dat aan bod komt. Daarnaast is het voor de hand liggend zoveel mogelijk zintuiglijke prikkels aan te bieden, teneinde de aangeboden alternatieve ervaringen zo realistisch mogelijk te maken. Tevens is het zaak de game-play zo simpel mogelijk te houden, opdat studenten zich ongehinderd kunnen concentreren zonder afgeleid te worden door allerlei triviale zaken. Ten slotte lijkt mij het inschatten van het juiste (initiële) niveau en de cumulatieve progressie hiervan erg moeilijk doch essentieel voor het al dan niet succesvol teweegbrengen van intrinsieke motivatie.

1.5 Meten van conceptuele kennis

Hoe is nu te bepalen wanneer studenten een misconception daadwerkelijk hebben vervangen door een wetenschappelijk correct concept? Aangezien sommige studenten concepten en algoritmes soms erg gescheiden kunnen houden, biedt de uitslag van een toets niet altijd inzicht in de heersende conceptuele kennis van studenten. Het stellen van eenvoudige en eenduidige vragen, waarbij juiste conceptuele kennis noodzakelijk is voor het correct kunnen beantwoorden hiervan en waarbij uit het antwoord duidelijk wordt welk soort (mis)concept er heerst, biedt mijns inziens een goede mogelijkheid ter verkrijging van inzicht in het conceptuele niveau van de student. De moeilijkheid hierbij ligt in het ontwikkelen van dergelijke vragen. Tevens is ook uit gesprekken en discussies met studenten een en ander te herleiden ten aanzien van de heersende concepten. Naar mijn mening liggen hierbij de moeilijkheden in *a)* het sturen van een dergelijk gesprek en *b)* het interpreteren van de door de student gegeven toelichtingen. Ten slotte ben ik de mening toegedaan dat er informatie omtrent aanwezige conceptuele kennis te halen valt middels het analyseren van gebruikte oplossingsstrategieën, welke studenten bij bepaalde problemen eropna houden, waarbij het soms moeilijk kan zijn deze uitwerkingen dusdanig te ontcijferen c.q. interpreteren dat deze enig inzicht bieden in de mentale processen van de student gedurende het oplossen van de betreffende problemen.

1.6 Onderzoeksvraag

Educatieve games staan thans erg in de belangstelling. Er is al een en ander aan onderzoek naar verricht en er zijn momenteel enige onderzoeken naar gaande. Over misconcepten (op het gebied van Newtoniaanse mechanica) is bekend dat deze resistent zijn tegen onderwijs, maar de mogelijke rol van educatieve games hierin is nog onduidelijk. Wat ik ga onderzoeken is in hoeverre het ontwerpen en op verschillende wijzen implementeren van een educatieve game, een bijdrage kan leveren aan het elimineren c.q. veranderen van misconcepten, welke betrekking hebben op een specifiek en beperkt gebied van de Newtoniaanse mechanica.

Hoe kan ik, door middel van het ontwerpen en implementeren van een educatieve game (inclusief gebruikmaking van externe interventies), een positieve bijdrage leveren aan het elimineren van misconcepten met betrekking tot de eerste twee wetten van Newton?

2 Praktijkverkenning

2.1 Visie docenten

Ik heb een aantal verkennende vragen gesteld aan een zestal docenten (werkzaam op verschillende scholen, in de vakgroepen natuurkunde, scheikunde en wiskunde). Ondanks dat aan de antwoorden van slechts zes personen geen conclusies verbonden kunnen worden, geeft het wel een ruwe indicatie hoe er door verschillende docenten tegen het fenomeen ‘misconcepten’ wordt aangekeken.

Verkennde vragen:

1. Sta je stil bij het verschil tussen conceptuele kennis en het aanleren van trucjes?
2. Heb je het idee dat studenten bij jou in de klas opgaven, met betrekking tot klassieke mechanica, oplossen met behulp van trucjes?
3. Vind je het gebruik van trucjes door studenten problematisch?
4. Heb je het idee dat studenten bij jou in de klas misconcepten hebben aangaande klassieke mechanica?
5. Vind je de aanwezigheid van misconcepten bij studenten problematisch?

Antwoorden:

1. Ja (4) Nee (1) Weet niet (1)
2. Ja (2) Nee (3) Weet niet (1)
3. Ja (5) Nee (1) Weet niet (0)
4. Ja (4) Nee (2) Weet niet (0)
5. Ja (5) Nee (1) Weet niet (0)

Uit de antwoorden op de verkennende vragen blijkt dat het gebruik van trucjes door studenten uit den boze is (een enkeling vind ze noodzakelijk). De meerderheid is van mening dat studenten niet of nauwelijks trucjes gebruiken, hetgeen bij mij de vraag oproept in hoeverre zij dat zelf doorhebben. Over het algemeen wordt erkend dat studenten misconcepten hebben en dat dit problematisch is.

Uit de discussies die voortvloeiden uit de verkennende vragen komen een aantal interessante dingen naar voren. Ik heb zelf geprobeerd om redelijk ‘open’ het gesprek aan te gaan, waarbij ik vooral op vragende wijze heb gediscussieerd, teneinde te voorkomen dat ik zelf het gesprek in een bepaalde richting zou sturen of mijn eigen mening hierin teveel tot uitdrukking zou brengen.

Opvallend is dat, hoewel de meerderheid erkent dat er bij veel studenten sprake is van misconcepten en dat deze problematisch zijn, er een soort berusting hierin lijkt te bestaan, alsof misconcepten er simpelweg bij horen en er weinig tegen te doen is. Dit in tegenstelling tot het aanleren van trucjes, waar de meerderheid (afgezien van een enkeling) fel op tegen is, alsof er een soort taboe heerst op het aanleren van trucjes aan studenten.

Als mogelijke oorzaken van misconcepten bij studenten worden *a)* het gebruik van foute analogieën, *b)* dubbelzinnig of tegenstrijdig taalgebruik in boeken c.q. lesmethoden of *c)* foute voorkennis genoemd.

2.2 Visie studenten

Ik heb getracht te peilen hoe studenten zelf tegen het probleem van misconcepten en het gebruik van trucjes aankijken. Hiervoor heb ik op twee verschillende scholen in totaal vier studenten (waarvan twee goed en twee minder goed presterend) gesproken in verband met de lessen natuurkunde (met betrekking tot een mechanica-hoofdstuk), wat voor cijfers ze haalden, of ze het gevoel hadden dat ze de stof snapt en of ze mij van twee simpele conceptuele vraagstukken de theorie konden verklaren in plaats van het slechts reproduceren van een formule of het geven van een rechtstreeks antwoord. Wederom vermeld ik hierbij dat uit deze antwoorden geen conclusies getrokken kunnen worden, maar dat het hier slechts een ruwe indicatie betreft ter verkenning van het onderwerp.

De twee simpele conceptuele vraagstukken gaan als volgt:

1. Hoe groot is de kracht op een bal die zich op het hoogste punt bevindt van een verticale worp en dus op dat moment even helemaal stil hangt?
2. Is er, bij een botsing tussen een auto en een vrachtwagen, een verschil tussen de kracht die de auto uitoefent op de vrachtwagen en de kracht die de vrachtwagen uitoefent op de auto? Zo ja, welke van de twee oefent dan de grootste kracht uit op de ander? Zo nee, waarom niet?

Wat mij uit de gesprekken duidelijk werd is dat er een tweedeling bestaat tussen studenten die zelf vonden dat ze het snapten en studenten die zelf vonden dat ze het niet snapten. Daarbij konden geen van de studenten het goede antwoord op de vraagstukken noemen, ondanks het feit dat de twee goed presterende studenten wel een aantal relevante formules konden reproduceren.

Studenten die zelf vonden dat ze het snapten: Deze studenten gaven aan makkelijk formules te kunnen onthouden en haalden best goede cijfers. Wat betreft de vraagstukken konden beide studenten hierop geen correct antwoord geven. Deze studenten konden echter moeiteloos enkele relevante formules reproduceren, maar toonden geen conceptuele begripsvorming ten aanzien van de opgaven, al hadden ze zelf de indruk van wel.

Studenten die zelf vonden dat ze het niet snapten: Deze studenten gaven aan moeite te hebben met (of geen zin te hebben in) het leerwerk van formules, het omrekenen van formules, het onderscheid maken tussen formules die op elkaar lijken, motivatie en het zien van 'het grote geheel'. Ook deze twee studenten wisten geen correct antwoord op de vraagstukken te geven. Deze studenten konden minder vanzelfsprekend (correcte en/of relevante) formules reproduceren en toonden zowel een gebrek aan begripsvorming ten aanzien van de vraagstukken, alsook een gebrek aan inzicht met betrekking tot het probleem-oplossend vermogen.

De gesprekken met de studenten hebben mijn vermoeden versterkt dat er, onder zowel de goed als minder goed presterende studenten, ongeveer dezelfde misconcepten heersen en dat het verschil in toetsresultaten met name zit in het kunnen (of willen) scheiden van 'het gevoel' (het heersende concept) en een specifiek oplos-algoritme, al dan niet in combinatie met relevante formules.

2.3 Eigen visie

Ik krijg zelf sterk de indruk dat veel oplos-algoritmes en systematische probleem-aanpakken eigenlijk verkapte trucjes zijn: Nietszeggende getallen worden ingevuld in onbegrijpelijke formules, waarna er wel een getal uitrolt. Wat er precies gaande is kunnen studenten doorgaans niet (goed) uitleggen. Vele studenten kunnen vaak ook totaal geen orde van grootte geven als mogelijke schatting van een antwoord. Bij een probleemstelling, waarbij alleen gevraagd wordt naar de theorie, zonder dat studenten hierbij iets daadwerkelijk uit hoeven te rekenen, gaat het vaak al mis. Rekenmachines worden toch weer tevoorschijn getoverd, terwijl een simpele uitleg achterwege blijft. Tevens is mijn ervaring dat conceptuele vraagstukken doorgaans fout worden beantwoord.

De combinatie van een en ander tezamen doet bij mij sterk het vermoeden rijzen dat goed presterende studenten vooral een goed ontwikkeld probleem-oplossend vermogen hebben (of goed trucjes kunnen leren en toepassen), waarbij het al dan niet halen van goede cijfers weinig correlatie lijkt te hebben met daadwerkelijke conceptuele begripsvorming.

3 Theoretisch kader met betrekking tot Conceptuele Kennis

3.1 Definitie

Taal in literatuur met betrekking tot misconcepten is vaak verwarrend en vaag. Er is sprake van een misconception wanneer het mentale model verschilt van het model dat algemeen geaccepteerd en gehanteerd wordt door de hedendaagse wetenschappelijke gemeenschap (Clerk & Rutherford, 2000). Er is geen sprake van een misconception indien het slechts een mislabeling betreft, of wanneer er (on)bewust gebruik wordt gemaakt van alternatieve definities. Tevens is er geen sprake van misconcepten indien een diepgaander en gedetailleerder correct model wordt gebruikt.

Mentale modellen zijn simplistische conceptuele representaties, bestaande uit persoonlijke interpretaties van fenomenen uit de alledaagse wereld om ons heen (Krause, 2008).

3.2 Voorkennis

Beginnende studenten hebben, lang voordat ze een collegezaal betreden, al een gevormd conceptueel kader, inclusief mentale modellen, welke hun oorsprong vinden in (mis)interpretaties van alledaagse ervaringen in combinatie met gebrekkige voorkennis. Deze conceptuele kaders en mentale modellen zijn doorgaans niet congruent met de Newtoniaanse theorie en bepalen gedeeltelijk hoe studenten reageren op bepaalde instructies (Dilber & Duzgun, 2008; Krause, 2008; Stewart, Griffin, & Stewart, 2007; Wattanakasiwich, 2008; White, 1984).

Foutieve mentale modellen en de hieraan gelieerde misconcepten zijn doorgaans zeer goed in staat om, tot op zekere hoogte, de dagelijkse dingen om ons heen, in die specifieke context, te kunnen begrijpen, verklaren en voorspellen. Zodra echter deze context verandert (of de alledaagse grenzen binnen deze context worden overschreden), worden deze foutieve mentale modellen steeds minder bruikbaar en accuraat (Krause, 2008).

3.3 Conceptuele moeilijkheden

Er bestaan moeilijkheden bij studenten betreffende het construeren van een wetenschappelijk correct formeel conceptueel raamwerk, welke effectief de formele (abstracte) natuurkundige fenomenen relateren aan de alledaagse spontane fenomenen om ons heen (Krause, 2008). Het is niet verwonderlijk dat studenten deze moeilijkheden ervaren, aangezien realistische situaties in de alledaagse wereld om ons heen doorgaans niet op simpele, waarneembare wijze congruent zijn met de formele wetten van Newton. De realiteit om ons heen is verwarrend en complex, waarbij het gedrag van natuurkundige fenomenen vaak tegen-intuïtief is (Dilber & Duzgun, 2008; Krause, 2008; White, 1984).

Het conceptueel raamwerk bij studenten is niet systematisch maar bestaat uit kleine stukjes kennis, waarmee, in combinatie met aanvankelijke (intuïtieve) misconcepten, studenten vaak flink worstelen. De contextafhankelijkheid van de keuze voor een mentaal model bij het oplossen van bepaalde problemen, alsmede het gradueel proces van het leren van formele concepten, zijn in lijn met deze interpretatie van het conceptueel raamwerk (Muller & Sharma, 2007; Stewart et al., 2007; Wattanakasiwich, 2008; White, 1984).

3.4 Spontane concepten & formele concepten

Vygotsky (1986) maakt onderscheid tussen *a*) concepten, aangeleerd door middel van onderwijs (formele concepten) en *b*) concepten, welke spontaan in een willekeurige situatie ontstaan (spontane concepten). Deze twee typen concepten beschrijven twee verschillende mogelijkheden om kennis te organiseren en te benaderen. Spontane concepten zijn niet-systematisch, contextafhankelijk en worden doorgaans onbewust gebruikt om concrete ervaringen te groeperen en hier betekenis aan te geven. Formele concepten worden gecultiveerd door middel van onderwijs en worden gekarakteriseerd als zijnde systematisch, veel-omvattend, niet-contextafhankelijk, abstract en georganiseerd.

Traditioneel onderwijs forceert de overdracht van formele concepten bij studenten. Echter, zonder een solide basis van concrete ervaringen, waaraan formele concepten kunnen worden gerelateerd, zullen studenten deze formele concepten slechts kunnen reproduceren zonder deze daadwerkelijk op conceptueel niveau te doorgronden (Egenfeldt-Nielsen, 2005).

3.5 Ervaringscognitie, reflectieve cognitie & leerstijlen

Naast het conceptuele onderscheid tussen formele en spontane concepten wordt er tevens onderscheid gemaakt tussen ervaringscognitie enerzijds en reflectieve cognitie anderzijds, waarbij ervaringscognitie gerelateerd is aan reacties op directe en concrete gebeurtenissen, terwijl reflectieve cognitie zorgvuldige en doelbewuste denkprocessen en aandacht vereist waar tijd overheen gaat (Kolb, 1984). Beide leiden tot kwalitatief verschillende vormen van leren, waarbij directe en concrete ervaringen doorgaans leiden tot begripsvorming gerelateerd aan een bepaalde context en/of situatie (spontane concepten), terwijl reflectie leidt tot expliciete en/of abstracte begripsvorming (formele concepten), welke toepasbaar is in nieuwe situaties (Pivec & Moretti, 2008; Rieber & Noah, 2008). De ene leervorm kan overgaan in de andere en vice versa. In het leerproces bij de vorming van nuttige kennis komen beide voor, hetgeen mooi beschreven wordt met de leerstijlen van Kolb (1984), (zie figuur 1, pag. 21): Concrete ervaringen vormen de basis voor de observaties en reflecties, welke de concrete ervaringen transformeren naar abstracte concepten, welke vervolgens inspiratie vormen voor nieuwe activiteiten, welke weer nieuwe directe en concrete ervaringen opleveren, welke wederom de basis vormen voor ... etc. Waar echter nog enige mate van onduidelijkheid over blijft bestaan, is wat nu precies een concrete ervaring inhoudt (Egenfeldt-Nielsen, 2005).

3.6 Cognitieve stijl, conceptuele kennis & probleem-oplossend vermogen

In tegenstelling tot wat redelijkerwijs zou kunnen worden verwacht, staat conceptuele kennis volledig los van probleem-oplossend vermogen (Ates & Cataloglu, 2007). De meest gangbare benamingen om analytische en holistische cognitieve stijlen aan te duiden zijn *a)* Field Dependent (veldafhankelijk) en *b)* Field Independent (veldonafhankelijk), afgekort tot FD/FI. Er is sprake van een FD-type cognitieve stijl wanneer de student moeite heeft om zaken van hun context te scheiden, terwijl er sprake is van een FI-type cognitieve stijl wanneer de student gemakkelijk zaken kan scheiden van hun context (Witkin, Goodenough, Moore, & Cox, 1977). Een analytische of holistische manier van denken is een criterium om FD en FI typen cognitieve stijlen te onderscheiden.

Globaal gezien zijn studenten met een FI-type cognitieve stijl analytisch georiënteerd, terwijl studenten met een FD-type cognitieve stijl meer holistisch en globaal ingesteld zijn.

Conceptuele kennis bij studenten is niet statistisch gerelateerd aan het type cognitieve stijl, terwijl probleem-oplossend vermogen juist zeer sterk statistisch gerelateerd is aan de cognitieve stijl (Ates & Cataloglu, 2007), hetgeen ontegenzeggelijk tot de conclusie leidt dat conceptuele kennis los staat van probleem-oplossend vermogen. Vanwege de relatie tussen probleem-oplossend vermogen en cognitieve stijl is het niet verwonderlijk dat, in academische richtingen, studenten met een FI-type cognitieve stijl gelijk of beter scoren dan studenten met een FD-type cognitieve stijl, hetgeen echter dus geen goede graadmeter is voor de conceptuele kennis van de betreffende studenten.

3.7 Invloed misconcepten op leerproces

Foutieve mentale modellen, alsmede hieraan gerelateerde misconcepten, zijn te vervangen door een correct raamwerk van mentale modellen, inclusief bijbehorende wetenschappelijk correcte formele concepten, middels het stimuleren van cognitieve processen welke ten grondslag liggen aan conceptuele verandering. De herkenning en acceptatie dat een bepaald bestaand mentaal model niet meer voldoet creëert een cognitief conflict, hetgeen een essentiële en belangrijke initiële fase vormt voor conceptuele verandering (Kearny & Pivec, 2007; Krause, 2008; Muller, Bewes, Sharma, & Reimann, 2008; Rieber & Noah, 2008).

Een van de oorzaken waardoor misconcepten het leerproces bemoeilijken is de barrière van het evaluatieproces van de aangeboden instructie in relatie tot de aanwezige voorkennis. Deze barrière ontstaat doordat de student niet het gevoel heeft dat de aangeboden kennis significant verschilt van de al aanwezige mentale modellen, hetgeen de creatie van een cognitief conflict in de weg staat, wat zich vervolgens uit in het feit dat de student globaal het gevoel heeft de stof te snappen; er zijn immers situaties besproken waarbij het gebruikte jargon enigszins bekend klonk (Muller & Sharma, 2007). Hierdoor zal de mentale inzet niet optimaal en nauwkeurig zijn, hetgeen uiteindelijk resulteert in een gebrek aan conceptuele verandering.

Een andere oorzaak waardoor misconcepten het leerproces op negatieve wijze beïnvloeden is het fenomeen ‘proactieve interferentie’, welke optreedt wanneer nieuwe kennis interfereert met al aanwezige voorkennis (Eysenck & Keane, 2005). Proactieve interferentie houdt in dat, indien nieuwe informatie daadwerkelijk wordt begrepen, er toch vaak oude kennis wordt opgehaald uit het langetermijn geheugen bij het aanspreken van het betreffende kennisgebied (Muller & Sharma, 2007).

3.8 Resistentie van misconcepten tegen traditionele educatie

Misconcepten zijn hardnekkig en zeer resistent tegen traditioneel onderwijs, waardoor studenten, in toenemende mate, natuurkunde als iets moeilijks ervaren (Krause, 2008; Muller & Sharma, 2007; Stewart et al., 2007; Thornton & Sokoloff, 1998; Wattanakasiwich, 2008; White, 1984).

Misconcepten zijn zo hardnekkig, omdat deze hun oorsprong vinden in een groot aantal diverse, directe en concrete ervaringen, welke vaak verankerd zijn in een krachtig netwerk van andere aanwezige misconcepten in het langetermijn geheugen (White, 1984). Verder kunnen moeilijkheden ontstaan met betrekking tot het creëren van cognitieve conflicten (Muller & Sharma, 2007). Daarnaast hebben studenten vaak niet de beschikking over een kant en klaar alternatief ter vervanging van een specifiek misconception. Zodra een student het spreekwoordelijke licht ziet, ontstaat er direct concurrentie met het oude model vanuit het langetermijn geheugen (Eysenck & Keane, 2005; Muller & Sharma, 2007). Al zou een student de beschikking hebben over een acuut en fotografisch geheugen, dan zal het nieuwe concept incongruent zijn met de rest van het conceptuele netwerk (White, 1984). Kortom: Misconcepten zijn zo hardnekkig omdat ze niet op zichzelf staan. Het is slechts een klein onderdeel in een groot geheel aan factoren, welke tegelijkertijd en op verschillende manieren invloed uitoefenen op de student. Blijkens deze factoren, al dan niet tezamen en in onderlinge samenhang beschouwd, is conceptuele verandering een stuk mentaal intensiever dan wanneer er helemaal geen conceptueel kader aanwezig zou zijn geweest. Het proces van conceptuele verandering is te vergelijken met het trachten te begrijpen van kleine stukjes, schijnbaar incoherente, inconsistente en incomplete nieuwe informatie, terwijl de al aanwezige voorkennis fungeert als een basis van drijfzand (Muller & Sharma, 2007).

3.9 Suggesties ter verwezenlijking van conceptuele verandering

Het in de instructie noemen van veel voorkomende misconcepten, inclusief uitleg waarom deze concepten foutief zijn, zal bij studenten voorkennis activeren en helpen bij het herkennen en accepteren van discrepanties tussen deze misconcepten en de wetenschappelijk correcte versies daarvan. Het benoemen van misconcepten schept geen extra verwarring bij studenten, maar creëert juist de cognitieve conflicten welke benodigd zijn voor de beoogde conceptuele verandering (Muller & Sharma, 2007; Muller et al., 2008).

Het laten maken en bestuderen van mindmaps en conceptuele schetsen biedt een krachtige mogelijkheid om nieuw geleerde conceptuele kennis te integreren en te verankeren in een coherent netwerk van samenhangende concepten. Het biedt formele concepten een plaats binnen het conceptuele raamwerk van de studenten, hetgeen een voorwaarde is voor conceptuele verandering (Krause, 2008).

Gebruikmaking van zowel metaforen alsook analogieën helpen met het relateren van nieuwe kennis aan voorkennis, middels juxtapositie van twee schijnbaar ongerelateerde concepten en de creatie van nieuwe, hieruit voortvloeiende, conceptuele kennis (Dilber & Duzgun, 2008; Rieber & Noah, 2008).

Concrete alternatieve ervaringen, welke zijn opgedaan tijdens het spelen van computergames, kunnen dermate dramatische en visuele discrepanties aan het licht brengen tussen de (aan de heersende misconcepten gerelateerde) verwachtingspatronen enerzijds en de daadwerkelijke uitkomsten anderzijds, dat deze sterke cognitieve conflicten veroorzaken, welke ten grondslag liggen aan de beoogde conceptuele verandering (Kearny & Pivec, 2007; White, 1984).

4 Theoretisch kader met betrekking tot Educatieve Games

4.1 Definitie

Een game is een competitief, interactief, uitdagend en op regels gebaseerd systeem van activiteiten, teneinde een specifiek doel na te streven, waarbij een onzekerheidselement in de uitkomst (waar de speler zich betrokken bij voelt) is verwerkt (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Pivec & Moretti, 2008).

4.2 Historie

Vanaf oudsher worden spellen in verband gebracht met educatie (Rieber & Noah, 2008). Historisch gezien maken spelvormen het mogelijk ervaringen op te doen die anders onmogelijk zouden kunnen worden verkregen (Egenfeldt-Nielsen, 2005). Spelenderwijs krijgen we de kans om te ontdekken en te trainen op het gebied van belangrijke zaken in het dagelijkse leven. Dit geldt niet slechts voor mensen; waar in de dierenwereld spel-activiteiten voorkomen is de functie daarvan het opdoen van ervaringen, bestemd voor het latere volwassen leven (Pivec & Moretti, 2008).

4.3 Verwachtingspatroon

Gezien het feit dat de huidige generatie studenten is opgevoed met diverse interactieve multimedia en computergames, is het niet geheel onlogisch te veronderstellen dat deze studenten een vergelijkbaar verwachtingspatroon hebben voor wat betreft educatieve media (Squire, Giovanetto, Devane, & Durga, 2005).

4.4 Sociale aspecten

Criticasters beweren dat games weinig sociale waarde hebben en zelfs schadelijk kunnen zijn voor de geestelijke ontwikkeling van de speler (Squire et al., 2005). Verder worden games, in formele educatie, vaak nog steeds gezien als een niet-serieuze activiteit (Pivec & Moretti, 2008). Naast het lezen van gamegerelateerde tijdschriften, handleidingen, strategische richtlijnen, websites en FAQ's, houden fanatieke gamers zich bezig met het schrijven van reviews en tutorials. Soms fungeren ze als mentor voor beginnende gamers. Sommige populaire games hebben zelfs een online universiteit, compleet met curricula, mentoren en decanen. Deze ongekend grote, internationale, georganiseerde educatieve gemeenschappen maken informatie en expertise toegankelijk, onafhankelijk van achtergrond, sociale klasse of geografische locatie van de individuele deelnemer (Squire et al., 2005), hetgeen tegensprekt dat gaming altijd voor sociaal isolement zou zorgen (Pivec & Moretti, 2008).

4.5 Kenmerken van kwalitatief goede games

Hieronder volgt een lijst met kenmerken waaraan games van goede kwaliteit zouden moeten voldoen.

- Passend initieel niveau (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007; Pivec & Moretti, 2008; Squire et al., 2005; Vygotsky, 1978; White, 1984)
- Een duidelijke/aansprekende context (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007; Pannese & Carlesi, 2007; Pivec & Moretti, 2008; Rieber & Noah, 2008; Squire et al., 2005)
- Feedback en de mogelijkheid tot Reflectie (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Pannese & Carlesi, 2007; Pivec & Moretti, 2008; White, 1984)
- Intrinsieke motivatie (flow) (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007; Pivec & Moretti, 2008; Rieber & Noah, 2008)

- Educatieve aanwijzingen en ondersteuning (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Pivec & Moretti, 2008; White, 1984)
- Een duidelijke set regels (Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007; Squire et al., 2005)
- Aandacht voor de bij te stellen conceptuele kennis (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; White, 1984)
- Nieuwsgierigheid (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Kearny & Pivec, 2007; Rieber & Noah, 2008)
- Controle (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Kearny & Pivec, 2007; Rieber & Noah, 2008)
- Een duidelijk(e) en specifiek(e) doel/uitdaging (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Rieber & Noah, 2008)
- Een duidelijke en accurate representatie van de betrokken fenomenen (Filius & Akkerman, 2008; Pannese & Carlesi, 2007; White, 1984)
- Multisensorische stimuli (Kearny & Pivec, 2007; Pivec & Moretti, 2008)
- Beschikbaarheid van relevante achtergrondinformatie (Filius & Akkerman, 2008; Squire et al., 2005)
- Een competitief element (Filius & Akkerman, 2008)
- Eliminatie van irrelevante complexiteiten met betrekking tot de gesimuleerde omgeving (White, 1984)
- Aanmoediging met betrekking tot *a*) gebruikmaking van probleemoplossende heuristieken; en/of *b*) toepassing van relevante kennis uit andere domeinen c.q. kennisgebieden (White, 1984).
- Mogelijkheid tot pauzeren (White, 1984)
- Hoog interactieniveau (Filius & Akkerman, 2008)

4.6 Niveau

Het optimale initiële niveau, voor wat betreft uitdaging en complexiteit, van een game moet in overeenstemming zijn met de maximale mogelijkheden van de individuele speler, waarna het niveau van de game stijgt naar gelang de progressie van de speler. Dit is gerelateerd aan Vygotsky's (1978) zone van proximale ontwikkeling, welke zegt dat de cognitieve complexiteit in verhouding moet staan tot de maximale mogelijkheden van de student, teneinde het leerproces mogelijk te maken. Wanneer het niveau van de game onder (of precies binnen) de grenzen van de speler ligt, zal deze snel zijn interesse verliezen. Wanneer het niveau van de game te ver buiten de mogelijkheden van de speler ligt, zal deze het spel als te moeilijk ervaren en het snel links laten liggen. Als de moeilijkheidsgraad van het spel aan de bovengrens ligt van wat de speler aankan, is er een uitdaging. Na oefening zal de vaardigheid van de speler toenemen, zodat ook het niveau van de game weer hoger moet komen te liggen, teneinde de uitdaging te behouden (Bransford, Brown, & Cocking, 1999; Egenfeldt-Nielsen, 2005; Kearny & Pivec, 2007; Pivec & Moretti, 2008; Squire et al., 2005; White, 1984). Deze stapsgewijze toename van zowel vaardigheid als moeilijkheidsgraad is te zien in figuur 5 (pag. 27).

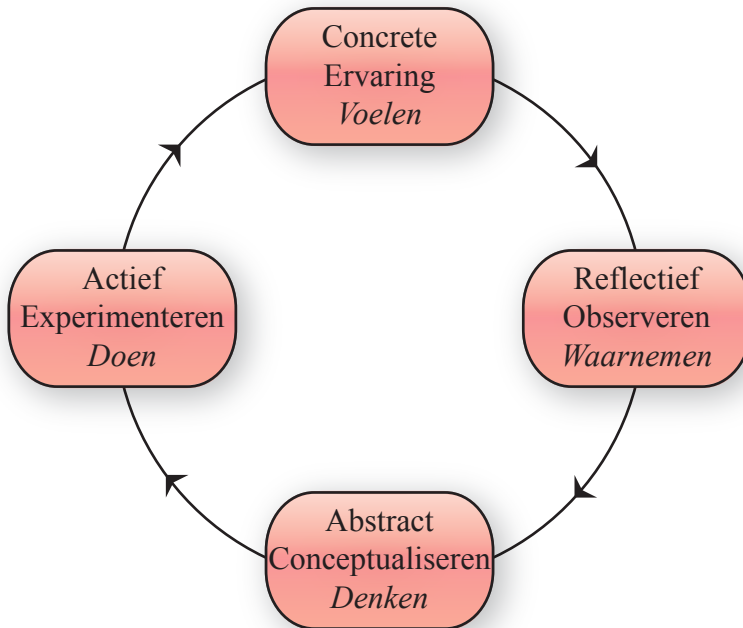
4.7 Context

Coherentie tussen de gesimuleerde omgeving en de realiteit is belangrijk in het proces van het extrapoleren en transformeren van nuttige kennis van de ene situatie naar de andere (Pivec & Moretti, 2008), hetgeen een accurate representatie van de realiteit voor wat betreft de context van de gesimuleerde omgeving wenselijk maakt (Pannese & Carlesi, 2007). Om het leerproces met betrekking tot het conceptuele kader omtrent de Newtoniaanse mechanica te verbeteren, is het belangrijk dat we studenten voorzien van een veilige alternatieve gesimuleerde omgeving, waarin fouten gemaakt kunnen en mogen worden en waarbij de studenten de mogelijkheid wordt geboden concrete ervaringen op te doen en te experimenteren met de wetten van Newton in een pure en versimpelde vorm (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Pivec & Moretti, 2008; White, 1984).

4.8 Leercycli in games: verschillende modellen

4.8.1 Game model van Kearny & Pivec (2007)

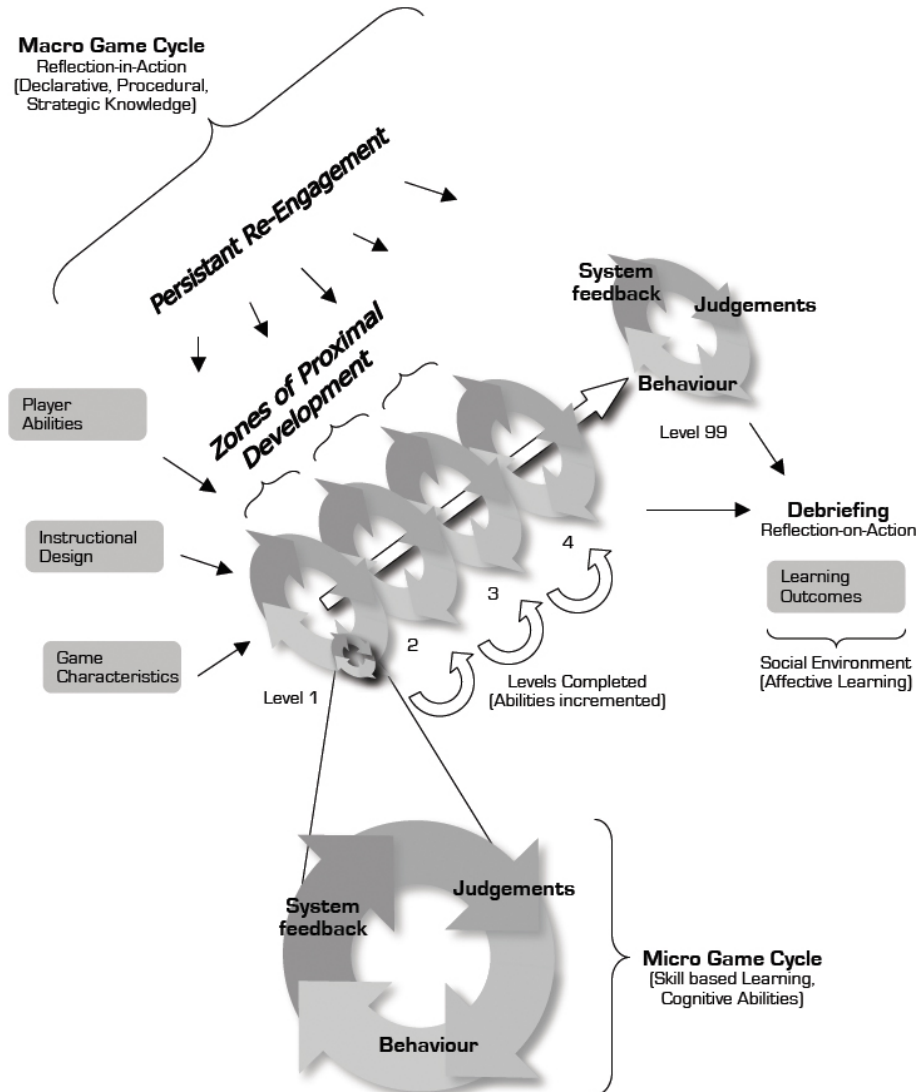
Volgens Kearny & Pivec (2007) is het leerproces in een educatieve game (waarbij de speler net zolang een level, opdracht of handeling herhaalt tot het doel bereikt is, waarna een volgende level of opdracht begint) gerelateerd aan de leerstijlen van Kolb (1984), (zie figuur 1).



Figuur 1: *Leercyclus van Kolb (1984)*

Conceptuele en nuttige praktische kennis wordt verkregen middels het meerdere malen doorlopen van de cyclus van concrete ervaringen, reflectie, abstracte conceptualisering en experimenten, welke optreden in ieder level en tijdens de hele game (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Kearny & Pivec, 2007; Pannese & Carlesi,

2007; Pivec & Moretti, 2008). Het model volgens Kearny & Pivec (2007) dat hierbij hoort is mijns inziens erg en onnodig gecompliceerd (zie figuur 2).

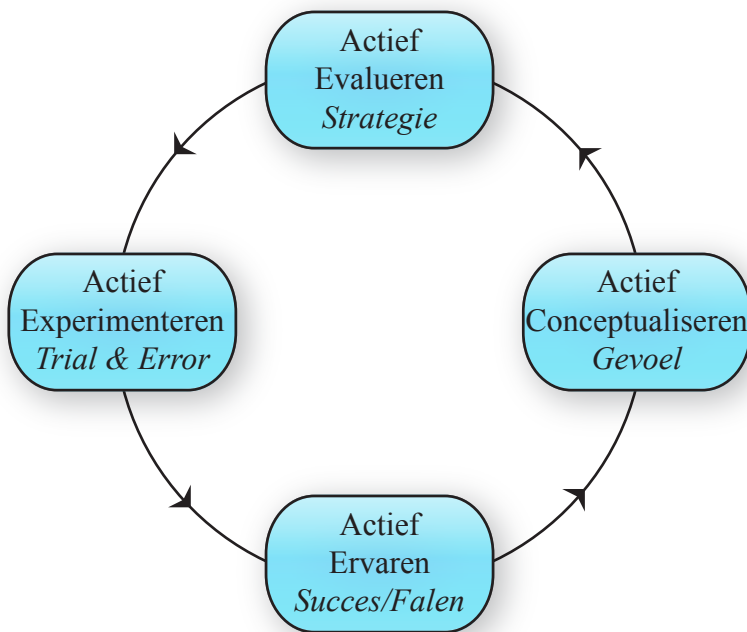


Figuur 2: Gamemodel van Kearny & Pivec (2007)

In het model is duidelijk te zien dat een flowstate wordt verkregen door qua niveau rekening te houden met Vygotsky's (1978) zone van proximale ontwikkeling. Tevens is de gelijkenis zichtbaar tussen de micro game-cyclus en de leercyclus van Kolb (1984). Wat echter niet goed duidelijk wordt is hoe deze cyclus zich verhoudt tot het zich al dan niet bevinden in de flowstate van de student, waarbij er tevens geen onderscheid wordt gemaakt tussen de leercycli van de student in en uit de flowstate, welke substantieel van elkaar verschillen.

4.8.2 Gamecyclus van Koops (2010)

De gamecyclus van Koops (2010) (zie figuur 3) vertoont gelijkenis met de leercyclus van Kolb (1984).



Figuur 3: Gamecyclus van Koops (2010)

Een groot verschil is dat er bij het actief ervaren in de gamecyclus sprake is van een kort moment, een split-second ervaring, een soort tussenstap in een continu proces en in ieder geval geen afgerond geheel, terwijl er bij de concrete ervaring in de leercyclus sprake is van een complete ervaring, een min of meer afgerond geheel.

Verder is er bij de leercyclus sprake van abstract conceptualiseren, waarbij er (langdurig) over de ervaring wordt nagedacht en waarbij er (hopelijk) formele conceptuele kennis ontstaat. Dit in tegenstelling tot de gamecyclus, waarbij er actieve conceptualisatie plaatsvindt, hetgeen inhoudt dat binnen een zeer kort tijdsbestek contextafhankelijke ‘spontane’ conceptuele kennis ontstaat op basis van de actieve ervaring.

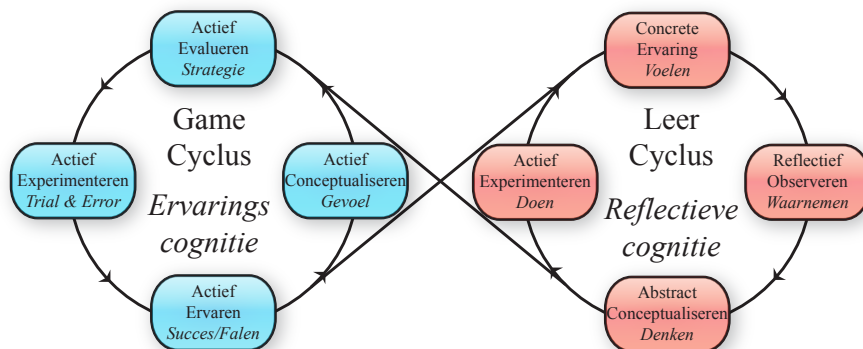
Het verschil tussen het actief experimenteren in zowel de gamecyclus als de leercyclus is dat er bij de leercyclus, aan de hand van de verkregen formele conceptuele kennis, een experiment wordt bedacht om deze formele conceptuele kennis te toetsen, terwijl er bij het actief experimenteren in de gamecyclus doorgaans via trial and error zeer snel aanpassingen aan de ‘game’-strategie plaatsvinden om zo snel mogelijk tot een beter resultaat te komen.

Het allergrootste verschil tussen de gamecyclus en de leercyclus is de aanwezigheid van reflectie (het reflectief observeren) in de leercyclus, waarbij koppelingen worden gelegd tussen de concrete ervaringen en de conceptuele kennis. Bij de gamecyclus zit het ervaren en observeren direct inbegrepen bij het actief ervaren (het gevoel), terwijl de reflectiecomponent (het nadenken) geheel ontbreekt. Dit heeft tot gevolg dat het ontstaan van spontane conceptuele kennis in de gamecyclus erg contextafhankelijk is (slechts bruikbaar binnen de game).

Bovenstaande verschillen tussen de gamecyclus en de leercyclus ontstaan onder andere dankzij het temporele aspect van een game. De gamecyclus voltrekt zich in slechts een fractie van de tijdsduur waarin de leercyclus zich voltrekt. De tijdsduur van de leercyclus staat niet vast, maar kan uren of zelfs dagen duren, terwijl de gamecyclus soms in enkele seconden (en erg vaak achter elkaar) doorlopen wordt.

4.8.3 Serious game lemniscaat model van Koops (2010)

In het serious game lemniscaat model van Koops (2010) (zie figuur 4) worden de gamecyclus en leercyclus aan elkaar gekoppeld.



Figuur 4: *Serious games lemniscaat model van Koops (2010)*

In dit model komt duidelijk de wederzijdse afhankelijkheid naar voren. De gamecyclus creëert concrete alternatieve ervaringen, met de hieruit voortvloeiende beperkte en contextafhankelijke spontane concepten. Door studenten af en toe uit de flowstate te dwingen en de leercyclus te laten doorlopen, kan (middels reflectie) het transformatieproces van spontane conceptuele kennis naar formele conceptuele kennis worden bewerkstelligd, welke minder contextafhankelijk en breder inzetbaar is.

In bovenstaand model is echter niet zichtbaar dat de gamecyclus zich snel en vaak achter elkaar herhaalt (mits de student zich in de flowstate bevindt), waarna de student af en toe gedwongen wordt de flowstate te verlaten, waarna de leercyclus zich een of slechts enkele malen herhaalt, waarna weer terug wordt gekeerd naar de gamecyclus (en de hierbij horende flowstate). Bij bovenstaand model lijkt het net of iedere keer na de gamecyclus de leercyclus volgt en vice versa.

Wat ook niet duidelijk wordt met bovenstaand model is het voortschrijdend inzicht van de student en het toenemend niveau van de game. Het model is plat, waardoor het lijkt alsof er eindeloos cirkels worden herhaald, waarna men weer bij het beginpunt uitkomt.

4.9 Motivatie & flow

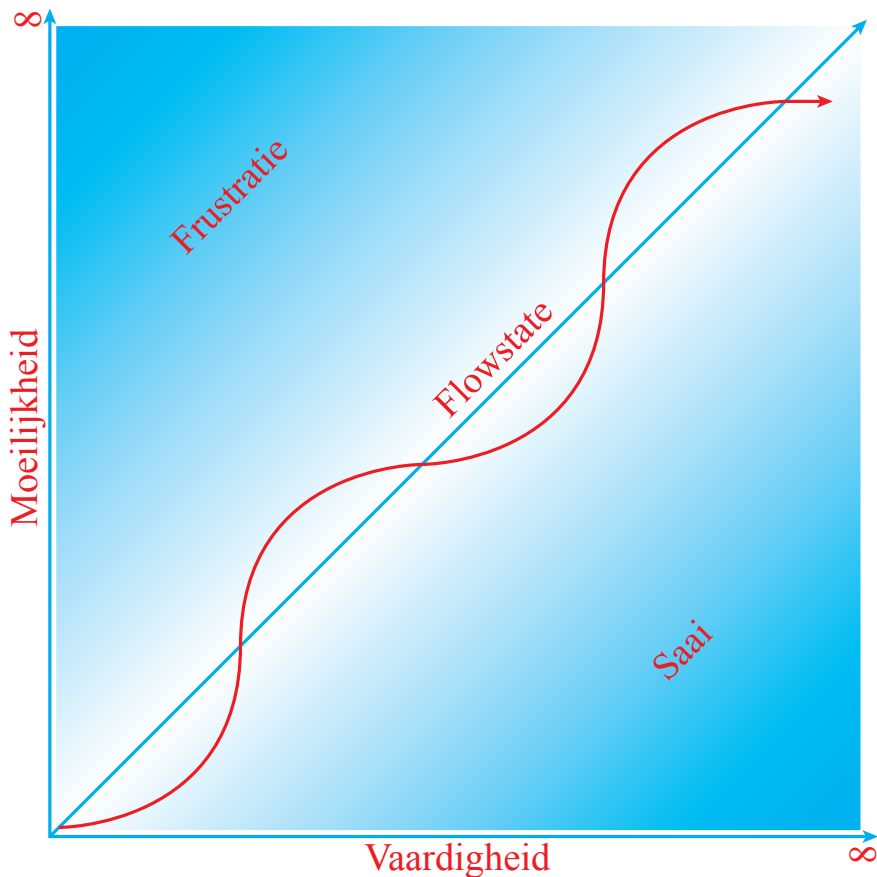
Leerresultaten worden verbeterd door de betrokkenheid van de speler in de game, waarbij de aandacht van de speler exclusief en geheel ligt bij het doel van de game. Deze exceptionele betrokkenheid motiveert de speler om herhaaldelijk te blijven participeren in de game. Dit type intrinsieke motivatie wordt ‘flow’ genoemd. Het concept van flow kan inzicht bieden in het al dan niet ‘verslavend’ zijn van een game (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007).

In figuur 5 is te zien dat de flowstate een functie is van zowel de moeilijkheidsgraad van de game alsook de graad van vaardigheid van de speler. Karakteristiek van de flowstate is dat deze geen scherpe rand heeft, hetgeen tot uiting komt in het feit dat het specifieke moment van het in of uit de flowstate raken zowel persoonsafhankelijk als situatieafhankelijk is en niet exact te bepalen valt. Het verloop van een game, waarbij het niveau stapsgewijs toeneemt in overeenstemming met de toenemende graad van vaardigheid van de speler (en waarbij de speler in de flowstate blijft balanceren), is in figuur 5 als rode lijn zichtbaar. Teneinde een speler in de flowstate te houden, moet zowel saaiheid als een te hoge frustratie worden vermeden.

Het concept van flow is niet vanzelfsprekend bij games. Veel educatieve en commerciële games falen vanwege gebrek aan flow, welke een essentiële voorwaarde is voor het succes van een educatieve game (Kearny & Pivec, 2007). Educatieve games, waarin het concept van flow echter wél duidelijk aanwezig is, bevinden zich op een dunne scheidingslijn, waarbij de game enerzijds alternatieve ervaringen aanbiedt en studenten kan helpen om informatie te ordenen en te structureren, terwijl anderzijds de game studenten mogelijk te veel afleidt van de educatieve doelstellingen wanneer de activiteiten érg intens zijn (Rieber & Noah, 2008).

Plezier en intrinsieke motivatie zijn, hoewel wezenlijk verschillend, onlosmakelijk met elkaar verbonden en zijn beide het gevolg van gemeenschappelijke voorwaarden (Pivec & Moretti, 2008). Ondanks het feit dat intrinsieke motivatie een belangrijke factor is en in belangrijke mate bijdraagt aan de effectiviteit van het leerproces (Filius & Akkerman, 2008; Kearny & Pivec, 2007), is flow alleen echter niet afdoende voor een efficiënt leerproces (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Rieber & Noah, 2008).

Een belangrijk punt ter overweging van externe beoordelingen met betrekking tot educatieve games, is het feit dat deze externe beoordelingen, op wat voor manier dan ook, een sterk remmende werking lijken te hebben op de intrinsieke motivatie (en daarmee samenhangend de betrokkenheid) van studenten bij de game (Filius & Akkerman, 2008; Pivec & Moretti, 2008; Squire et al., 2005).



Figuur 5: *Flow*

4.10 Externe interventie

Er moet, met betrekking tot educatieve games, opgepast worden dat er niet teveel nadruk wordt gelegd op ervaringscognitie, aangezien hierbij doorgaans reflectieve cognitie te weinig een rol speelt. Educatieve games bieden een intrinsieke motivatie, waarbij studenten met grote betrokkenheid uitdagingen aangaan en complexe problemen oplossen. De hiermee verkregen concrete ervaringen zullen uiteindelijk resulteren in voornamelijk spontane conceptuele kennis in plaats van formele conceptuele kennis. Dit heeft tot gevolg dat studenten deze ervaringen doorgaans niet in een erg breed perspectief plaatsen, waardoor er moeilijkheden ontstaan met betrekking tot het extrapoleren en toepassen van deze kennis in andere domeinen of contexten; het zogenaamde ‘lateraal’ denken. Dankzij het onbewuste karakter van spontane concepten, hebben studenten vaak ook niet het gevoel iets geleerd te hebben van een educatieve game, tenzij extern geïntervenieerd wordt, teneinde reflectie (en hiermee samenhangend de abstractie naar formele, breed inzetbare, conceptuele kennis, alsmede koppelingen naar andere kennisgebieden) te bevorderen (Egenfeldt-Nielsen, 2005; Rieber & Noah, 2008; White, 1984). De grote vraag hierbij is of, wanneer en op wat voor manier de studenten uit en in de flow-state gehaald moeten worden om te kunnen wisselen tussen de gamecyclus en leeracyclus.

5 Specificering Misconcepten

Goede begripsvorming omtrent veel voorkomende misconcepten is essentieel in het uiteindelijk teweegbrengen van conceptuele verandering. Teneinde een relevant beeld te krijgen met betrekking tot enkele specifieke misconcepten op het gebied van de Newtoniaanse mechanica, waarvan dit onderzoek tot doel heeft deze te elimineren, beschrijf ik deze in eerste instantie vanuit het perspectief van de drager ervan.

Ten eerste bekijk ik de vorming van specifieke spontane conceptuele kennis op basis van alledaagse ervaringen, waarna deze wordt geabstraheerd naar een meer formele beschrijving van deze specifieke misconcepten. Vervolgens worden, op een abstracter niveau, de verschillen tussen de foutieve en de correcte formele concepten toegelicht, waarna ik tenslotte enkele implicaties van de correcte formele conceptuele kennis op de alledaagse ervaringen toelicht.

5.1 Spontane misconcepten

Enkele voorbeelden van ‘dagelijkse’ ervaringen, welke (kunnen) leiden tot foutieve conceptuele kennis zijn:

1. Er is kracht nodig om constante snelheid te houden (bv. tijdens fietsen).
2. Indien iets beweegt is er een kracht in die richting (bv. een rollende voetbal).
3. Een beweging kan van richting worden veranderd door het uitoefenen van een kracht in de richting van de gewenste bewegingsrichting (bv. een voetbal uit zijn baan richting het doel schoppen).
4. Indien een voorwerp twee maal zo snel beweegt, bevat het tweemaal zoveel kracht (en in rust bevat het geen kracht).
5. Indien een tweemaal zo zwaar voorwerp met dezelfde snelheid beweegt, bevat het tweemaal zoveel kracht (bv. een deur inbeuken is minder moeilijk indien de persoon die dit probeert zwaarder is).

6. Een boek blijft in rust op tafel liggen omdat de kracht van het boek op de tafel even groot is en tegengesteld aan de kracht van de tafel op het boek.
7. Bij een botsing tussen een auto en een vrachtauto oefent de vrachtauto een grotere kracht uit op de auto dan omgekeerd (auto heeft meer schade).

5.2 Formalisering misconcepten

De in de vorige paragraaf genoemde ervaringen kunnen leiden tot de volgende, wat meer generaliseerde, incorrecte mentale modellen:

- Kracht is evenredig met snelheid (1, 2 & 4).
- De richting van een beweging wordt slechts gedefinieerd door een uitgeoefende kracht (3).
- De beweging van een voorwerp wordt beïnvloed door de reactiekracht van dit betreffende voorwerp op een ander voorwerp (6).
- Reactiekrachten zijn niet altijd even groot (7).
- Kracht is evenredig met massa (5). Deze is lastig, gezien deze in sommige situaties wel correct is, doch niet zoals genoemd in (5).

5.2.1 Misconcept gebaseerd op 2e wet v. Newton

Uit bovenstaande lijst zijn de volgende ‘incorrecte’ conclusies te trekken:

- $F \sim v$
- $F \sim m$
- $F = 0 \Rightarrow v = 0$

Deze incorrecte conclusies kunnen, als we hier de eveneens incorrecte opvatting aan koppelen dat de richting van de beweging altijd exact gelijk is aan de richting van de uitgeoefende kracht, verder gegeneraliseerd worden door de volgende (algemene) incorrecte vergelijking:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{v} \quad (1)$$

5.2.2 Misconcept gebaseerd op 3e wet v. Newton

De opvatting dat een reactiekracht niet altijd even groot is (maar wel tegengesteld), kan worden gegeneraliseerd door de volgende vergelijking:

$$F_{a \rightarrow b} = -c F_{b \rightarrow a} \quad (2)$$

De expressie $F_{a \rightarrow b} \neq -F_{b \rightarrow a}$ zou hier niet aan voldoen, gezien het feit dat deze expressie verbiedt dat reactiekrachten tegengesteld zouden zijn. De opvatting is vaak dat deze wél tegengesteld zijn, maar niet altijd even groot; vandaar de introductie van een onbepaalde factor c in vergelijking 2.

5.2.3 Misconcepten aan het werk in praktijkvoorbeeld

Vergelijking 1 & 2 herbergen de meerderheid van de misconcepten met betrekking tot de eerste 3 wetten van Newton.

Als voorbeeld nemen we een fietser die tegen een brommer botst onder een hoek van 90 graden.

Ten eerste moet de fietser blijven trappen om met constante snelheid te fietsen. Dit is congruent met vergelijking 1.

Aannemende dat de fietser niet al te snel rijdt (alledaagse ervaring) zal hij het gevoel hebben dat, indien hij 2 maal zo snel wil fietsen, hij ook 2 maal zo

veel kracht zal moet zetten, hetgeen bij benadering (gevoelsmatig) congruent is met vergelijking 1.

Op het moment dat de fietser met de brommer botst, zal hij het gevoel hebben dat de zware brommer veel meer kracht op zijn fiets uitoefent dan andersom, hetgeen congruent is met vergelijking 2. Dit wordt versterkt doordat de fiets waarschijnlijk meer schade heeft dan de brommer.

Op het moment dat er een situatieschets getekend wordt (voor de verzekering), blijkt dat zowel de fietser als de brommer een eind verderop liggen, vrijwel in de rijrichting van de brommer, hetgeen congruent is met zowel vergelijking 1 als vergelijking 2.

Al deze ‘alledaagse’ ervaringen (hoewel het botsen zelf hopelijk geen alledaagse ervaring betreft) voeden de misconcepten, beschreven door de vergelijkingen 1 en 2.

5.3 Correcte formele concepten

Onder ‘normale’ omstandigheden (v is veel kleiner dan de lichtsnelheid) gelden de volgende betrekkingen:

- $F \sim a$
- $F \sim m$
- $F = 0 \Rightarrow v = \text{constant}$

Deze verbanden kunnen gegeneraliseerd worden door de volgende vergelijking:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{a} \tag{3}$$

Algemener: (welke, indien $m = \text{constant}$, weer leidt tot vergelijking 3)

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt} \quad (4)$$

Verder geldt voor de impuls (beweging):

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (5)$$

Substitutie van vergelijking 5 in vergelijking 4 levert:

$$\Sigma \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (6)$$

In woorden:

- Beweging (=impuls) is de snelheid van een voorwerp met een bepaalde massa.
- Het veranderen van een beweging kan worden bewerkstelligd middels het veranderen van de snelheid (grootte en/of richting).
- Het veranderen van de snelheid (acceleratie) gebeurt door het uitoefenen van een kracht (gedurende een bepaalde tijd), op een voorwerp met een bepaalde massa.
- Massa kan worden gedefinieerd als zijnde een weerstand tegen de verandering van beweging.

5.3.1 Vergelijking formele concepten & misconcepten

Tabel 1 vergelijkt de verschillen tussen de formele misconcepten en de formele correcte concepten.

In tabel 1 is te zien dat kracht wordt gezien als impuls. Dit misconcept is verantwoordelijk voor vrijwel alle foutieve modellen gebaseerd op alledaagse ervaringen met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica.

Foutief	Correct
$F \sim v$	$F \sim a$
$F = 0 \Rightarrow v = 0$	$F = 0 \Rightarrow v = c$
$\Sigma \vec{F} = m \vec{v}$	$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$
$F_{a \rightarrow b} = -c F_{b \rightarrow a}$	$F_{a \rightarrow b} = -F_{b \rightarrow a}$
$\uparrow + \rightarrow = \rightarrow$	$\uparrow + \rightarrow = \nearrow$

Tabel 1: *Vergelijking formele concepten*

Zelfs de (incorrecte) opvatting dat actie/reactiekrachten niet even groot hoeven te zijn vindt zijn oorsprong in dit misconcept; het hebben van massa (en/of snelheid) en het ‘bevatten’ van kracht wordt immers aan elkaar gelijkgesteld, hetgeen consistent is met vergelijking 1. Hierdoor krijgt men het (incorrecte) idee dat een zwaarder (en/of sneller bewegend) voorwerp meer kracht ‘in zich heeft’ dan een licht (en/of langzamer bewegend) voorwerp, hetgeen vervolgens tot uiting komt in een botsing (waarbij de kracht die de voorwerpen ‘in zich hebben’ weer vrij zou moeten komen).

Een uitzondering hierop is bijvoorbeeld de (incorrecte) opvatting dat een boek stil blijft liggen op tafel, omdat de tafel een even grote en tegengestelde kracht uitoefent op het boek als het boek op de tafel. De verwarring zit hier in het feit dat bovenstaande uitspraak gedeeltelijk waar is; de tafel oefent inderdaad een even grote en tegengestelde kracht uit op het boek als het boek op de tafel. De reden dat het boek stil blijft liggen is echter omdat de tafel evenveel kracht uitoefent op het boek (omhoog gericht) als de aarde op het boek (zwaartekracht, naar beneden gericht). Alleen de krachten uitgeoefend op hetzelfde voorwerp mogen worden opgeteld en hebben invloed op (de verandering van de beweging van) dat specifieke voorwerp. De reactiekrachten bestaan uiteraard ook, maar hebben slechts invloed op het andere voorwerp.

Het feit dat kracht wordt gezien als impuls zou mede kunnen worden verklaard door het algemene onvermogen om onderscheid te kunnen maken tussen grootheden en veranderingen van deze grootheden in de tijd (McDermott, 1984). Het betreft in dit geval het onderscheid tussen de snelheid enerzijds en de verandering van de snelheid in de tijd (versnelling) anderzijds.

De formele kennis van deze veel voorkomende misconcepten is gebruikt met betrekking tot de ontwikkeling van de educatieve game ‘*Space Challenge*’ (zie Ontwerp, pag. 39).

5.3.2 Implicaties correcte formele concepten

Ter visualisatie van de implicaties van het correcte formele conceptuele kader met betrekking tot de eerste 3 wetten van Newton gaan we nogmaals uit van het voorbeeld van een fietser die tegen een brommer botst onder een hoek van 90 graden; ditmaal vanuit een correct conceptueel perspectief.

Ten eerste moet de fietser blijven trappen om met constante snelheid te fietsen, hetgeen congruent is met vergelijking 3, aangezien er tegenwerkende wrijvingskrachten overwonnen moeten worden. Indien de fietser evenveel kracht levert als de tegenwerkende wrijvingskracht, is de nettokracht 0, waardoor ook de versnelling 0 is, hetgeen uiteindelijk neerkomt op een constante snelheid.

Aannemende dat de fietser niet al te snel rijdt (alledaagse ervaring) heeft hij het gevoel dat als hij 2 maal zo snel wil fietsen, hij ook 2 maal zo veel kracht moet zetten. Naarmate de snelheid toeneemt klopt dit gevoel niet meer. De fietser weet dat bij hogere snelheid de wrijvingsweerstand onevenredig snel groter wordt. Dit kan niet meer verklaard worden met vergelijking 1. Vergelijking 3 biedt uitkomst: de fietser moet bij hogere snelheid flink wat meer luchtwrijving overwinnen, teneinde de nettokracht op 0 te houden, waardoor deze hogere snelheid uiteindelijk constant blijft. De grootte van de luchtwrijving als functie van de rijsnelheid valt buiten het domein van dit onderzoek.

Op het moment dat de fietser met de brommer botst, beseft hij dat de brommer veel zwaarder is en veel harder rijdt (veel impuls), waardoor er veel kracht nodig is om deze te stoppen. De fietser is licht en rijdt langzaam (weinig impuls), waardoor er weinig kracht nodig is om de fietser uit balans te brengen en deze te stoppen. De fietser weet dat tijdens de botsing de kracht van de fiets op de brommer even groot en tegengesteld gericht is als de kracht van de brommer op de fiets. Deze kracht kan de lichte fiets met weinig snelheid snel stoppen, terwijl de reactiekracht, met exact dezelfde grootte, veel minder invloed heeft op de veel zwaardere brommer die bovendien al veel meer snelheid had. De fiets heeft waarschijnlijk meer schade dan de brommer, aangezien brommers

constructietechnisch dusdanig gemaakt zijn dat deze grotere krachten kunnen weerstaan dan fietsen.

Tijdens het tekenen van een situatieschets voor de verzekering blijkt dat zowel de fiets als de brommer een eind verderop liggen, vrijwel in de rijrichting van de brommer. Als ze nauwkeurig meten komen ze tot de conclusie dat de baan van de brommer en fietser na de botsing niet precies in het verlengde ligt van de rijrichting van de brommer. Via de getekende situatieschets kan de verzekering, met behulp van de Newtoniaanse mechanica, vrij precies berekenen hoe hard de fietser en de brommer hebben gereden vóór de botsing.

Kortom: misconcepten werken bij benadering bij het verklaren van alledaagse ervaringen, terwijl correcte concepten dit, onder veel meer omstandigheden (ook bij niet-alledaagse situaties), veel nauwkeuriger kunnen.

6 Plan van Eisen

6.1 Beperkingen

In 4.5 (Kenmerken van kwalitatief goede games, zie pag. 18), is een groot aantal kenmerken van kwalitatief goede games ter sprake gekomen. Gezien de financiële en temporele beperkingen met betrekking tot dit onderzoek heb ik besloten mijn plan van eisen, voor wat betreft het ontwerp van een educatieve game, te baseren op slechts een aantal van deze kenmerken, waarvan ik vind dat deze zowel uitvoerbaar als essentieel zijn voor het doel van de game in mijn onderzoek.

6.2 Platform

Gamemaker is een gangbaar platform voor het creëren van educatieve games (Filius & Akkerman, 2008). Ik heb enige ervaring in het werken met game-maker, wat het voor mij het ideale platform maakt om een educatieve game in te ontwikkelen. Daarnaast zijn op het internet vele hulpmiddelen voor het ontwikkelen van games in gamemaker gratis beschikbaar. Gamemaker is object-georiënteerd en ondersteunt het gebruik van zogenaamde sprites, hetgeen een krachtige manier is om grafisch iets leuks te ontwikkelen zonder dat dit al te veel tijd kost.

6.3 Eisen

Hieronder volgt een lijst met eisen, op basis waarvan ik de educatieve game ‘*Space Challenge*’ heb ontworpen.

- Passend (initieel) niveau, welke zich aanpast gedurende het verloop van de game
- Duidelijke, realistische, concept-georiënteerde gesimuleerde omgeving (context)

- Feedback en de mogelijkheid tot reflectie
- Intrinsieke motivatie (flow)
- Duidelijke regels
- Heldere en specifieke doelstellingen
- Duidelijke en accurate representatie van betrokken fenomenen
- Multisensorische stimuli
- Eliminatie van irrelevante complexiteiten
- Aanspreken van voorkennis en/of relevante kennis uit andere kennisgebieden

7 Ontwerp

In dit stuk bespreek ik het ontwerp van mijn educatieve game, genaamd ‘*Space Challenge*’. Deze game is geïnspireerd door de game van White (1984), de game ‘*Space Shuttle Commander*’ van Rieber (1998) en de C=64 game ‘*Cyclons*’ van Syntax (Rabbit Software, 1984).

Hierbij heb ik in de beginfase, waar mogelijk, al rekening proberen te houden met de latere programmeertechnische en pedagogische aspecten van de game. Tevens heb ik in dit stadium rekening gehouden met zowel de misconcepten die ik zichtbaar wil maken, alsook de manier waarop ik conceptuele verandering wil gaan verwezenlijken.

7.1 Doelstelling

Het ontwerp van de game is erop gericht misconcepten, met betrekking tot de eerste twee wetten van Newton, zichtbaar te maken en een basis te vormen voor conceptuele verandering.

Space Challenge biedt studenten een platform om alternatieve ervaringen, congruent met de Newtoniaanse mechanica, op te doen in een veilige situatie. Deze alternatieve ervaringen zullen doorgaans niet overeenkomen met ervaringen uit het dagelijkse leven. Deze inconsistentie in ervaringen zorgt voor een cognitief conflict, welke vervolgens de basis vormt voor de beoogde conceptuele verandering.

De aangeboden alternatieve ervaringen zijn congruent met de Newtoniaanse mechanica. Dit biedt docenten mogelijkheden om deze alternatieve ervaringen, en de hieraan gelieerde spontane concepten, te koppelen aan de formele Newtoniaanse concepten. Door de aard van de aangeboden alternatieve ervaringen zullen de formele Newtoniaanse concepten hopelijk minder tegenintuïtief gevonden worden.

7.2 Doelgroep

Het ontwerp van de game is gebaseerd op het gebruik door beginnende studenten met geen tot weinig formele kennis van de Newtoniaanse mechanica. Hierbij is vooral 4 Havo en 4 VWO de specifieke doelgroep. Dit is echter geen voorwaarde voor het spelen van de game. Zowel kinderen als ouderen, studenten (zelfs universitair) als niet-studenten, kunnen de game succesvol spelen. De invloed van de beoogde conceptuele veranderingen zullen naar verwachting echter het grootst zijn bij de specifieke doelgroep, waarbij de docent tevens een belangrijke rol vervult.

7.3 Versies

Space Challenge is ontwikkeld op 2 niveaus:

1. LT-versie (LT staat voor ‘*Loose Timing*’)
2. HT-versie (HT staat voor ‘*Hard Timing*’)

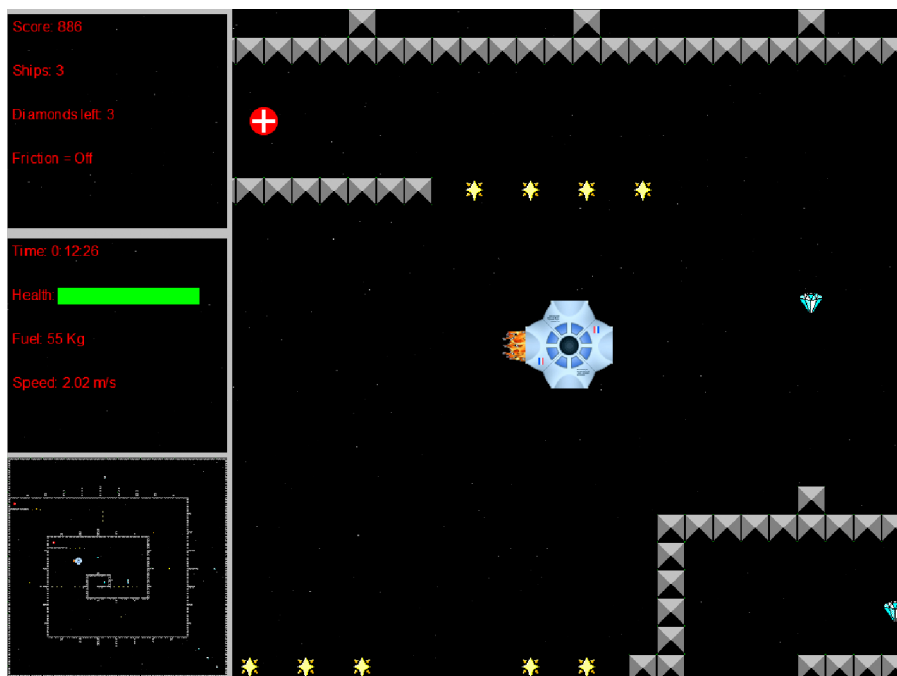
De moeilijkheidsgraad van de LT-versie is dusdanig afgestemd op de geanticipeerde vaardigheden van de studenten, dat de flowstate langdurig gehandhaafd kan worden. Deze LT-versie vormt de basis voor de langetermijn flowstate implementatie van Space Challenge (zie Methodiek, pag. 51).

De moeilijkheidsgraad van de HT-versie is hoger dan de geanticipeerde vaardigheden van de studenten, waardoor studenten zeer waarschijnlijk uit de flowstate raken (zie figuur 8, pag. 53). Het exacte moment waarop studenten uit de flowstate raken kan enigszins worden beïnvloed middels het introduceren van specifieke moeilijkheden en/of problemen welke, naar verwachting, niet zelfstandig door de betreffende studenten opgelost kunnen worden. Middels de hierdoor ontstane frustratie raakt de student uit de flowstate. Deze HT-versie vormt de basis voor de kortetermijn flowstate implementatie van Space Challenge (zie Methodiek, pag. 51).

De 2 versies verschillen van elkaar slechts met betrekking tot de hoeveelheid beschikbare tijd en/of brandstof. Het level-design, de gameplay en alle game-elementen zijn voor beide versies identiek.

7.4 Gesimuleerde omgeving

De gesimuleerde omgeving (zie figuur 6) bestaat uit een voorwerp in een wrijvingsloze omgeving zonder gravitatiekrachten, waarbij wrijving in bepaalde (duidelijk aangegeven) levels wordt geïntroduceerd.



Figuur 6: *Stukje van de gesimuleerde omgeving uit Level 4.*

Teneinde te bewerkstelligen dat de studenten kunnen relateren aan de context van een gravitatie- en wrijvingsloze gesimuleerde omgeving, heb ik gekozen voor de metafoor van een ruimteschip in de ruimte. Daarnaast is met deze metafoor op een later tijdstip (als de studenten meer vertrouwd zijn geraakt met de gesimuleerde omgeving en de besturing van het ruimteschip), het concept van atmosferische wrijving en eventueel gravitatie gemakkelijk en geloofwaardig te introduceren.

Om de metafoor van de ruimte te versterken heb ik op de achtergrond wat sterren zichtbaar gemaakt. Om het geheel iets spannender te maken heb ik

tevens wat mijnen en rondvliegend ruimte-afval (in de vorm van meteoren) geïntroduceerd.

In het kader van realiteit heb ik besloten om in sommige levels de mogelijkheid te introduceren voor wat betreft het bijtanken van brandstof en reparatie van opgelopen schade.

In een poging de implicaties van de wetten van Newton zichtbaar te maken heb ik links naast het speelveld een aantal kleine veldjes gecreëerd, waarbij extra info zoals snelheid, score, schade, brandstof, tijd, etc. wordt getoond.

Met bovenstaand ontwerp is voor wat betreft de game-omgeving aardig voldaan aan de eis van een duidelijke, realistische, concept-georiënteerde context (zie Eisen, pag. 37).

7.5 Feedback

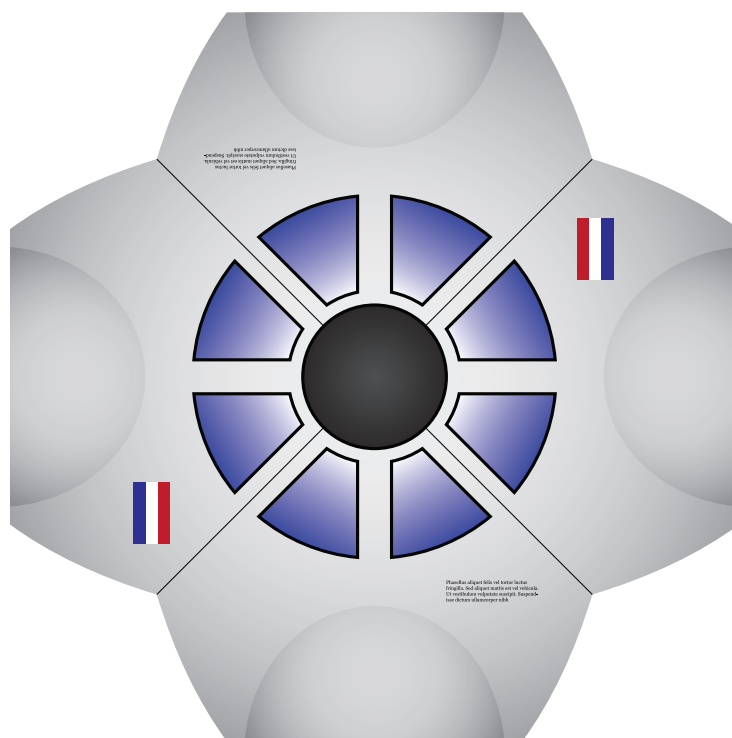
Hoewel de gesimuleerde omgeving slechts een sterk versimpelde variant van de werkelijkheid betreft, heeft deze echter wel raakvlakken met de alledaagse wereld om ons heen. Objecten bewegen en je kunt er een kracht op uitoefenen, hetgeen aanwezige voorkennis van de student met betrekking tot het betreffende kennisgebied aanspreekt en activeert.

Studenten zullen deze gesimuleerde omgeving betreden met een bepaald verwachtingspatroon (White, 1984), zoals bijvoorbeeld dat voorwerpen altijd bewegen in de richting waarin een kracht wordt uitgeoefend, of dat er continu een kracht benodigd is om een voorwerp met constante snelheid te doen laten bewegen (zie Spontane Misconceptionen, pag. 29). Dit uit zich in het feit dat studenten bepaalde initiële strategieën eropna houden om de beweging van voorwerpen te controleren. Echter zullen deze strategieën falen, hetgeen studenten een indicatie geeft dat er iets mis is met het verwachtingspatroon en de hieraan gelieerde ideeën. De gesimuleerde omgeving geeft direct feedback met betrekking tot hoe, en op wat voor manier, deze strategieën falen. Door het gecreëerde cognitieve conflict is er voldaan aan een belangrijke voorwaarde voor conceptuele verandering (White, 1984).

Het feit dat de gesimuleerde omgeving overeenkomsten biedt met (en gerelateerd is aan) de alledaagse wereld om ons heen, kan studenten helpen nuttige kennis uit het aangepaste conceptuele kader te extrapoleren en toe te passen in nieuwe situaties en contexten in het alledaagse leven.

7.6 Ruimteschip

In het kader van het elimineren van irrelevante complexiteiten en het verkrijgen van flow (zie Eisen, pag. 37), moet het ontwerp van het ruimteschip (zie figuur 7) zowel simpel zijn (om de aandacht niet af te leiden) alsook visueel aantrekkelijk (om extra betrokkenheid van de speler te creëren).



Figuur 7: *Ruimteschip*

Er bestaan een aantal methoden met betrekking tot de besturing van een ruimteschip. White (1984) en Rieber (1998) hebben gekozen voor het richten en ontsteken van een enkele stuwraket. Het grote nadeel hiervan is dat, wanneer de student een bepaalde richting heeft gekozen, er veel tijd en handelingen nodig zijn om eerst de stuwraket te richten en vervolgens te ontsteken, waarbij tegen de tijd dat de stuwraket gericht staat en klaar is om ontstoken te worden, de student eigenlijk alweer een andere richting in gedachten heeft. Kortom, er gaat te veel tijd overheen tussen beslissen en uitvoeren, waardoor de student geen directe feedback krijgt op de initiële strategie. Naast het temporele aspect is er ook een cognitief aspect, waarbij gedacht moet worden aan het feit dat bovengenoemde besturing nogal wat cognitieve capaciteiten van de student vereist, waardoor deze minder cognitieve capaciteit overhoudt voor wat betreft de in-game interacties, zoals bijvoorbeeld tijdens het spelen de strategie direct veranderen (improvisatie, trial & error) na het krijgen van feedback van een eerdere actie. Deze processen verlopen zeer snel en vereisen grote concentratie en maximale cognitieve capaciteiten van de student. Niet relevante complexiteiten, zoals een onnodig ingewikkelde of niet snel reagerende besturing, dienen hierdoor te worden vermeden.

Ik heb gekozen voor de meest simpele besturing van het ruimteschip: een besturing middels de vier cursortoetsen. Het indrukken van een toets, in een van de vier verschillende richtingen, ontsteekt een stuwraket (in de tegenovergestelde richting) en oefent hierdoor een vaste kracht uit op het ruimteschip in de gekozen richting. De tijdsduur van het indrukken van de toets is een maat voor de tijdsduur van het uitoefenen van deze kracht. Ik heb gekozen voor dit type besturing, aangezien deze (toetsenbordtechnisch) erg simpel, direct en snel blijft, waardoor zoveel mogelijk de cognitieve capaciteiten van de student beschikbaar blijven voor wat betreft de invloed van de besturing op het uiteindelijke gedrag van het ruimteschip in de game. De besturing is vergelijkbaar met de besturing van de game *'Cyclons'* van Syntax (Rabbit Software, 1984), waarbij het verschil is dat ik gebruik maak van slechts 4 richtingen en 4 bijbehorende cursor-toetsen en er bij *Cyclons* gebruik wordt gemaakt van 8 richtingen en een joy-stick.

Tijdens het besturen van het ruimteschip wil ik het uitoefenen van een kracht, alsmede de tijdsduur hiervan, visualiseren door middel van vlammen uit een daarvoor bestemde stuwraketuitlaat (in tegengestelde richting als waarin de kracht wordt uitgeoefend).

In het kader van het aanbieden van een accurate representatie van betrokken fenomenen (zie Eisen, pag. 37), heb ik sterk getwijfeld voor wat betreft het al dan niet aanbieden van auditieve stimuli gedurende het ontsteken van deze stuwaketten. Aan de ene kant zorgt de extra auditieve stimulus voor extra plezier, terwijl aan de andere kant het aanbieden van auditieve stimuli in de context van de gesimuleerde omgeving (gesitueerd in het vacuüm van de lege ruimte), het misconcept dat er in de ruimte iets als geluid bestaat zou kunnen versterken. Vanwege het feit dat ik het argument van het extra plezier dankzij de auditieve stimuli zwaarder vind wegen dan het argument dat geluid in de ruimte niet mogelijk is, heb ik uiteindelijk toch gekozen voor het gebruik van het geluid van een brander gedurende de tijd dat een stuwaket ontstoken is. Indien een student zich afvraagt hoe het kan dat er geluid is in de ruimte, geef ik als antwoord dat het geluid zich in het ruimteschip bevindt (waar uiteraard een atmosferische druk heerst).

7.7 Levels

In het kader van het aanbieden van een passend niveau (zie Eisen, pag. 37), is het wenselijk de eerste levels te liëren aan de verschillende stappen die benodigd zijn om het ruimteschip correct te kunnen besturen en welke niet geheel toevalligerwijs tevens corresponderen met zowel de verschillende maten van complexiteit, alsook met de afzonderlijke verschillende aspecten van de Newtoniaanse mechanica waar studenten vaak moeite mee hebben. Dit heeft tevens als voordeel dat er in het begin, per level, slechts één misconcept ter sprake komt, hetgeen extra verwarring bij studenten helpt voorkomen.

7.7.1 Level 1

De eerste stap om het ruimteschip te leren controleren is tevens zowel het eerste niveau van complexiteit alsook het eerste aspect van de Newtoniaanse mechanica waar studenten vaak moeite mee hebben. Het betreft hier het wetenschappelijk incorrecte, doch intuïtief in sterke mate aanwezige, verwachtingspatroon van studenten voor wat betreft de noodzaak van het continu uitoefenen van een kracht om een voorwerp met constante snelheid te laten bewegen (White, 1984), (zie Spontane misconcepten, pag. 29).

Het beginnen van de game met een level, waarbij de aandacht wordt gevestigd op het vectorieel optellen van krachten in slechts één dimensie, heeft als mogelijk gevolg dat de verschillende operatoren (en de effecten daarvan op het voorwerp) isomorfisch worden gerelateerd aan het vaak al aanwezige conceptuele kader van simplistische rekenkundige bewerkingen met betrekking tot scalaire grootheden. Een kracht, uitgeoefend in de richting waarin het ruimteschip al beweegt, zorgt voor een toename in de snelheid in die richting (zoals bij de optelling van scalaire grootheden), terwijl een kracht, uitgeoefend in tegengestelde richting als waarin het ruimteschip al beweegt, zorgt voor een afname in de snelheid in die richting (zoals bij het verschil van scalaire grootheden). Dit resulteert uiteindelijk in het besef bij de student dat krachten een optellend effect hebben op de snelheid van het ruimteschip, zolang alles (kracht en beweging) zich in één dimensie (rechte lijn) afspeelt (White, 1984).

Om dit te realiseren heb ik het eerste level als volgt ontworpen:

- Het ruimteschip staat stil, in de linkerbovenhoek van het speelveld.
- In de rechterbovenhoek van het speelveld moet een object worden opgepikt (met zeer lage snelheid).
- Om een zo hoog mogelijke score te halen mag niet tegen de muren worden gebotst en moet het level zo snel mogelijk worden uitgespeeld met zo min mogelijk verbruikte brandstof.

Dit lijkt erg simpel, maar de ervaring van enkele bètatesters leert dat de naïve strategie is om zo snel mogelijk bij het bewuste object te geraken, waarna er niet op tijd geremd kan worden, waardoor het ruimteschip tegen de muur botst.

Tevens is het, tijdens het spelen van het eerste level, mogelijk om stukjes van het volgende level te zien, waardoor de motivatie groeit om door te spelen.

7.7.2 Level 2

Het ontwerp van level 2 is volledig identiek aan level 1, waarbij de verschillen tussen beide levels zitten in de aanwezigheid van (lucht)wrijving, alsmede verschillen in initiële randvoorwaarden, zoals bijvoorbeeld brandstofhoeveelheid en beschikbare tijd.

Door middel van de introductie van wrijving in dit level zal de benodigde strategie om dit level tot een succesvol einde te brengen wezenlijk verschillen van die van het vorige level. De naïve strategie, welke in het vorige level leidde tot falen, leidt in dit level tot succes, waardoor de factor wrijving nu geïntegreerd kan worden in het conceptuele netwerk. Tevens krijgt de student hopelijk het gevoel dat de formele Newtoniaanse mechanica, mits dit soort factoren worden inbegrepen, wel degelijk congruent is met de alledaagse ervaringen om ons heen.

7.7.3 Level 3

In lijn met de eerste stap (level 1 & 2) betreft de tweede stap het wederom wetenschappelijk incorrecte, doch intuïtief in sterke mate aanwezige, verwachtingspatroon van studenten dat een voorwerp altijd in de richting van de kracht beweegt welke op het voorwerp uitgeoefend wordt (White, 1984), (zie Spontane misconcepten, pag. 29).

De doelstelling van dit level is het ruimteschip vloeiend een bocht door te leren manoeuvreren, zonder te botsen tegen de muur.

De naïeve strategie, gebaseerd op bovenstaand verwachtingspatroon, zou kunnen zijn dat op het ruimteschip (met een beginsnelheid naar rechts) een kracht omlaag wordt uitgeoefend, waarna het ruimteschip naar beneden zou moeten bewegen. Uiteindelijk resulteert deze strategie in een botsing met de muur, omdat er geen rekening wordt gehouden met de beginsnelheid (naar rechts) van het ruimteschip. Wat er daadwerkelijk gebeurt, na het toepassen van bovenstaande strategie, is dat het ruimteschip (na het uitvoeren van de kracht omlaag) schuin naar rechts-beneden beweegt en vervolgens botst tegen de muur. Deze discrepantie tussen het verwachtingspatroon en wat er daadwerkelijk met

het ruimteschip gebeurt is dusdanig dramatisch en visueel dat deze niet perceptueel valt te ontkennen of te negeren, waardoor deze discrepantie direct resulteert in een cognitief conflict, welke een belangrijke voorwaarde is in het proces van conceptuele verandering (White, 1984).

De mogelijkheid tot pauzeren van de game zou in dit stadium, na een aantal mislukte pogingen, mogelijkheden bieden voor zowel reflectie (met betrekking tot de directe ervaringen), alsook externe interventies (bijvoorbeeld door middel van het aandragen van probleemoplossende heuristiek en/of kennis met betrekking tot andere domeinen), waardoor studenten hun strategie kunnen aanpassen en hier verder in de game mee kunnen experimenteren.

In lijn met de eerste twee levels heb ik het derde level als volgt ontworpen:

- Het ruimteschip staat stil, in de linkerbovenhoek van het speelveld.
- In eerste instantie lijkt het erg op level 1 & 2, maar waar level 1 & 2 ophouden (muur) moet in dit level een bocht worden genomen, waarna na een kort recht stuk het object te vinden is dat met lage snelheid moet worden opgepikt.
- Om wederom een zo hoog mogelijke score te halen mag niet tegen de muren worden gebotst en moet het level zo snel mogelijk worden uitgespeeld met zo min mogelijk verbruikte brandstof.

Na het halen van een level wordt een keuzeschermbetoond waarin de mogelijkheid wordt aangeboden om het voorgaande level opnieuw te doorlopen (om een hogere score te krijgen) of waarbij de mogelijkheid wordt aangeboden om met de huidige score door te gaan naar het volgende level.

Ook bij dit level is de initiële strategie van de bètatesters om bij het nemen van de bocht een kracht uit te oefenen in de richting die ze op willen, waarbij geen rekening wordt gehouden met de beginsnelheid, waardoor het ruimteschip crasht tegen de muur.

Tevens is bij dit level de vaardigheid van level 1 vereist om dit level succesvol te doorlopen.

7.7.4 Level 4

In lijn met level 1 & 2 is het ontwerp van dit level identiek aan die van level 3, waarbij de verschillen gezocht moeten worden in zowel de wrijvingsfactor als de initiële randvoorwaarden. Ook in dit level zal de naïve strategie, welke in het vorige level tot falen leidde, hier succes brengen. Dit zal de factor wrijving sterker verankeren als zijnde het grootste verschil tussen de simpele Newtoniaanse mechanica (welke zo tegen-intuïtief lijkt) en een uitgebreidere Newtoniaanse mechanica (welke, dankzij de factor wrijving, meer in overeenstemming is met de alledaagse werkelijkheid om ons heen).

7.7.5 Level 5

Teneinde zowel de moeilijkheid alsook het speelplezier iets te vergroten, heb ik ervoor gekozen dit level wat uitgebreider te maken. Hierbij zijn geen nieuwe vaardigheden, maar slechts een verfijning van de al geleerde vaardigheden, benodigd. Ik heb het vijfde level als volgt ontworpen:

- Het ruimteschip staat stil, in de linkerbovenhoek van het speelveld.
- Hetzelfde parcours als bij level 1 t/m 4 moet worden afgelegd, waarna dit parcours zich ontplooit als een soort spiraal naar binnen toe.
- Er is in het level de mogelijkheid om brandstof bij te tanken en opgelopen schade te repareren. Teneinde dit succesvol te kunnen benutten is een goede voertuigbeheersing noodzakelijk.
- Om een zo hoog mogelijke score te halen mag niet tegen de muren worden gebotst en moet het level zo snel mogelijk worden uitgespeeld met zo min mogelijk verbruikte brandstof.

Dit level is een logisch vervolg op level 1 t/m 4. De vaardigheden opgedaan in de eerste vier levels worden hier verder verfijnd. Tevens bieden de extra mogelijkheden bij dit level extra uitdaging en spelplezier, teneinde de speler in de flowstate te houden.

7.7.6 Level 6

Teneinde het niveau verder te verhogen wordt in dit level een aantal nieuwe obstakels geïntroduceerd in de vorm van mijnen die ontploffen wanneer je er tegenaan vliegt en meteoren die zorgen voor schade wanneer je er tegenaan vliegt. Dit level is, buiten de nieuwe obstakels, gelijk aan level 5. De nieuwe elementen zouden voor genoeg extra niveau moeten zorgen om de speler in de flowstate te houden, terwijl de vaardigheden van de voorgaande levels nog verder worden verfijnd.

7.7.7 Level 7

Level 7 slaat een nieuwe weg in. Dit level heeft alle elementen die in voorgaande levels aanwezig waren. Echter is er geen vast parcours meer dat gevolgd dient te worden. Er is een ruim speelveld waarin naar eigen inzicht gemanoeuvreerd kan worden. De speler wordt in dit level als het ware ‘vrij gelaten’ om de, in voorgaande levels aangeleerde, vaardigheden toe te passen en naar eigen inzicht het level (en hiermee ook de hele game) uit te spelen.

7.7.8 Volgende levels

Eventuele volgende levels van de game zouden een uitbreiding van de game-elementen en/of speelveld kunnen betekenen, gekoppeld met de eventuele introductie van nieuwe mechanische concepten (zoals bijvoorbeeld elastische & inelastische botsingen, cirkelbeweging, energie, etc.).

7.8 Wederom beperkingen

In het kader van het afgebakend stukje mechanica in mijn onderzoeksvraag beperk ik mij voorlopig tot het ontwerp van de eerste zeven levels van de game.

8 Uitvoering Onderzoek

8.1 Methodiek

Om zowel de invloed van Space Challenge op de conceptuele kennis van de beoogde doelgroep, alsook de invloed van de wijze waarop Space Challenge geïmplementeerd wordt, zichtbaar te maken, maak ik gebruik van drie vergelijkbare en onafhankelijke parallele groepen.

Deze methodiek maakt het mogelijk te bepalen of de game bijdraagt aan conceptuele verandering tijdens een instructieperiode. Tevens is hiermee te bepalen of de wijze waarop Space Challenge geïmplementeerd wordt, in combinatie met de gebruikte externe interventies, invloed heeft op de mate van conceptuele verandering.

Onder externe interventies versta ik in dit geval het geven van hints, tips en bruikbare feedback aan studenten, tijdens of na het spelen van de game (of tussen de spelmomenten in). Vygotsky's (1978) 'Zone van Proximale Ontwikkeling' beschrijft niet alleen de afstemming van het niveau, maar relateert ook de invloed van externe interventies aan een effectief leerproces.

8.1.1 Groep 1 - langetermijn flowstate implementatie

Bij een 4 VWO klas (A4a) wordt in eerste instantie de aanwezige conceptuele kennis gemeten, waarna de LT-versie van Space Challenge (zie Versies, pag. 40) ter introductie van het onderwerp wordt ingezet. Na een instructieperiode van een aantal weken wordt nogmaals de aanwezige conceptuele kennis gemeten.

Tijdens de instructieperiode wordt er op traditionele manier lesgegeven, waarbij de game een 'extra' leermiddel is. Bij de LT-versie van Space Challenge wordt verwacht dat de studenten zich gedurende een lange periode in de flowstate bevinden (zie figuur 5, pag. 27).

Nadat de student de game voltooid heeft, wordt er speciale instructie gegeven (externe interventie) met als doel de spontane concepten, welke de student

zich gedurende het spelen van de game in de flowstate eigen heeft gemaakt, te transformeren naar formele concepten. Deze speciale instructie omvat voornamelijk het uitleggen van de formele concepten aan de hand van concrete voorbeelden uit Space Challenge.

Het in en uit de flowstate raken van de studenten in deze groep kan omschreven worden als het doorlopen de gamecycli en leercycli volgens het serious game lemnischaat model van Koops (2010) (zie figuur 4, pag. 25), waarbij het afwisselen tussen de gamecyclus en leercyclus bij de studenten in deze groep in principe tussen de lessen onderling plaatsvindt.

De wijze waarop space challenge bij deze groep wordt ingezet noem ik de langetermijn flowstate implementatie.

8.1.2 Groep 2 - kortetermijn flowstate implementatie

Bij een vergelijkbare klas (A4b) als bij groep 1 wordt weer in eerste instantie de aanwezige conceptuele kennis gemeten, waarna de HT-versie van Space Challenge (zie Versies, pag. 40) ter introductie van het onderwerp wordt ingezet. Na een even lange en vergelijkbare instructieperiode als bij groep 1 wordt nogmaals de aanwezige conceptuele kennis gemeten.

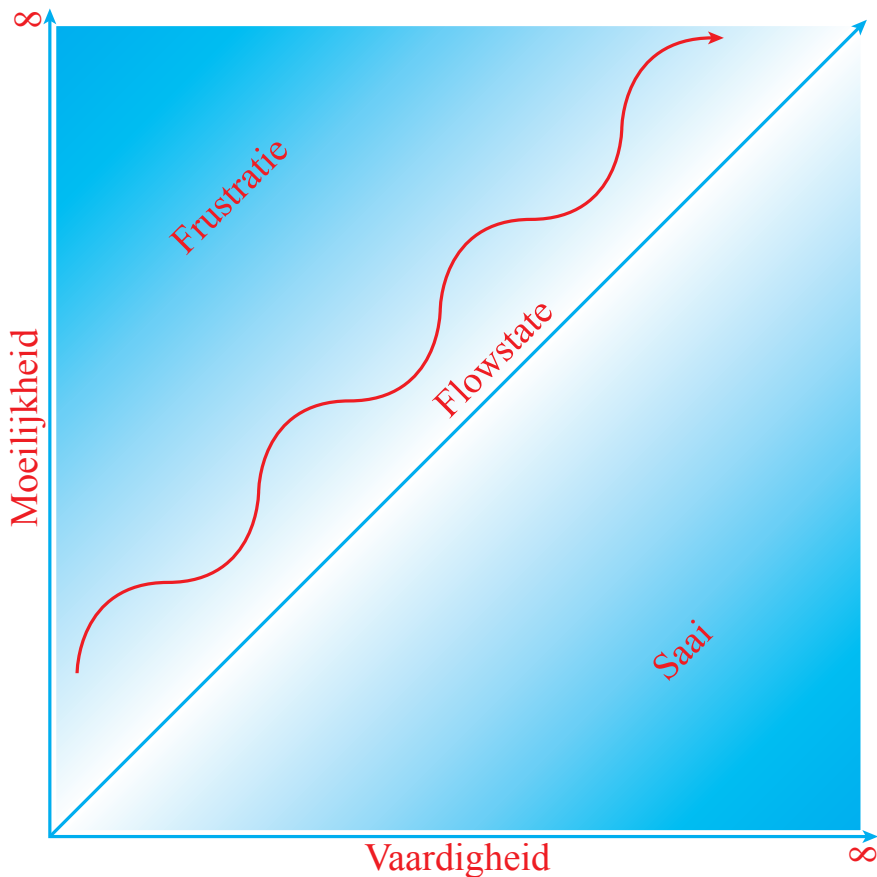
Tijdens de instructieperiode wordt er op traditionele manier lesgegeven, waarbij de game een ‘extra’ leermiddel is. Bij de HT-versie van Space Challenge wordt verwacht dat de studenten zich slechts gedurende een korte periode in de flowstate bevinden (zie figuur 8).

Tijdens de momenten dat de studenten uit de flowstate zijn geraakt worden korte instructieperioden (externe interventies) ingelast, met wederom als doel het transformeren van de verkregen spontane conceptuele kennis naar formele conceptuele kennis, welke de studenten weer staat zou moeten stellen terug te kunnen keren naar de flowstate. De instructie in deze korte instructieperioden omvat de formele conceptuele uitleg met betrekking het specifieke concrete probleem uit Space Challenge.

Het in en uit de flowstate raken van de studenten in deze groep kan wederom omschreven worden als het doorlopen de gamecycli en leercycli volgens het

serious game lemniscaat model van Koops (2010) (zie figuur 4, pag. 25), met als grote verschil dat studenten in deze groep de gamecycli en leercycli op verschillende en individuele wijzen doorlopen, waarbij de gamecyclus en leercyclus elkaar waarschijnlijk vaak en onafhankelijk van de rest van de studenten afwisselen.

De wijze waarop space challenge bij deze groep wordt ingezet noem ik de kortetermijn flowstate implementatie.



Figuur 8: *Kortetermijn flowstate*

8.1.3 Groep 3 - traditioneel onderwijs

Bij een vergelijkbare klas (A4c) als bij Groep 1 & 2 wordt weer in eerste instantie de aanwezige conceptuele kennis gemeten, waarna gedurende een instructieperiode (even lang als bij groep 1 & 2) de conceptuele kennis nogmaals wordt gemeten. Er wordt in deze groep gebruik gemaakt van traditionele instructie, zonder dat Space Challenge in deze groep wordt geïntroduceerd.

8.2 Instrumenten ter kwantificatie van conceptuele kennis

Traditionele toetsen bieden weinig inzicht in conceptuele kennis bij studenten. Er is de afgelopen jaren veel onderzoek gedaan naar het creëren van testen, welke daadwerkelijk de conceptuele kennis meten.

De Force Concept Inventory, afgekort FCI, is een betrouwbaar en valide meetinstrument om conceptuele kennis met betrekking tot Newtoniaanse mechanica bij studenten te meten (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992; Krause, 2008; Muller et al., 2008). Daarnaast is de Force and Motion Concept Evaluation, afgekort FMCE, eveneens een betrouwbaar en valide meetinstrument voor het meten van conceptuele kennis op het gebied van Newtoniaanse mechanica (Muller et al., 2008; Ramlo, 2008), waarbij het verschil tussen de FCI en FMCE voornamelijk bestaat uit het feit dat de FMCE met name de Newtoniaanse concepten in een enkele dimensie test, terwijl de FCI een breder gebied afdekt (Thornton, Kuhl, Cummings, & Marx, 2009).

Er zijn echter meerdere mogelijk storende factoren, met betrekking tot taalgebruik en formuleringen, waarmee rekening gehouden dient te worden bij het gebruik van de FCI en/of FMCE als indicatoren voor misconcepten (Clerk & Rutherford, 2000). Ten eerste kunnen moeilijkheden ontstaan bij het wetenschappelijk jargon; studenten blijken, wanneer ze onjuiste antwoorden verbaal toe kunnen lichten, in sommige gevallen specifieke moeilijke woorden verkeerd te vertalen/interpreteren. Taalkundige complexiteit van probleemstellingen kunnen hoger liggen dan wat de student aankan. Typografische, grammaticale of semantische taalfouten kunnen leiden tot meervoudig interpreteerbare formuleringen enerzijds en volledig incorrecte formuleringen anderzijds. Tevens kunnen in uitzonderlijke gevallen ook taalkundig correcte formuleringen

op meerdere verschillende (eveneens correcte) manieren geïnterpreteerd worden. Tenslotte bestaat de mogelijkheid, in geval van onbewuste aanpassing, dat studenten over sommige woorden heen lezen, of deze substitueren door alternatieven.

Het behoeft weinig uitleg dat het bovenstaande nogal wat mogelijkheden creëert voor incorrecte diagnostisering met betrekking tot misconcepten. Enkele aanbevelingen, ter voorkoming van bovenstaande problemen, zijn: *a)* het (tijdens instructie) besteden van aandacht aan correct, eenduidig en gemakkelijk te volgen taalgebruik, *b)* het (bij het ontwerp van toetsen) besteden van aandacht aan correcte, eenduidige en gemakkelijk te volgen formuleringen van probleemstellingen en *c)* het (tijdens toetsen) extra toe laten lichten van gegeven antwoorden.

Bij het gebruik van de FCI of FMCE als meetinstrument wordt de test in principe zowel voor als na de instructieperiode afgenomen, teneinde conceptuele verandering binnen deze periode kwantificeerbaar te maken. Het afnemen van de FCI of FMCE voor de instructieperiode heeft geen significant effect op de resultaten van deze tests, wanneer deze na de instructieperiode nogmaals worden afgenomen. Ook het al dan niet toekennen van een cijfer aan de FCI of FMCE scores heeft geen significante invloed op de resultaten (Henderson, 2002).

De Mechanics Baseline Test, afgekort MBT, is een test om probleem-oplossend vermogen te meten. In tegenstelling tot de FCI en de FMCE wordt voor het maken van de MBT enige formele kennis van de Newtoniaanse mechanica verondersteld (Hestenes & Wells, 1992). Het probleem-oplossend vermogen staat echter los van conceptuele kennis (zie Cognitieve stijl, conceptuele kennis & probleem-oplossend vermogen, pag. 13).

Variatie in meetinstrumenten (bijvoorbeeld door middel van triangulatie) is essentieel om uiteindelijk waarde te kunnen hechten aan de getrokken conclusies (Harinck, 2009; McNiff & Whitehead, 2005; Ponte, 2006). Om aan de voorwaarde voor triangulatie te voldoen maak ik gebruik van in totaal drie meetinstrumenten.

8.2.1 Meetinstrument 1 - FCI

De Nederlandse vertaling van de FCI (Force Concept Inventory) vormt meetinstrument 1 (zie Appendix A, pag. 81).

8.2.2 Meetinstrument 2 - schriftelijke toelichtingen

Gezien de onvolkomenheden van de FCI voor wat betreft taalgebruik (Clerk & Rutherford, 2000), laat ik studenten hierbij schriftelijke toelichtingen schrijven. Deze toelichtingen vormen meetinstrument 2.

8.2.3 Meetinstrument 3 - vrije observatie

Een observatie van de verschillende groepen gedurende de uitvoeringsperiode vormt meetinstrument 3. De observatie is een vrije observatie, zonder lijst met vooraf gedefinieerde observatiepunten. Het doel van de observatie is hoofdzakelijk het globaal beschrijven van het ‘gevoel’ dat ik tijdens de uitvoeringsperiode bij de verschillende groepen ervaar en hoe ik dit gevoel kan koppelen aan de testresultaten. Het gebruik van een vrije en subjectieve observatie als meetinstrument rechtvaardig ik dankzij het feit dat iedere menselijke interactie per definitie subjectief is, waarbij het gevoel bij de inzet van een alternatieve lesmethode mijns inziens net zo belangrijk is als het objectief vastgesteld nut ervan. Immers, als het gevoel niet goed is zal men, hoe goed iets ook werkt, het toch niet willen gebruiken.

8.3 Data-acquisitie

De Nederlandse vertaling van de FCI wordt op papier uitgereikt, inclusief extra schrijfruimte voor de mogelijke toelichtingen, waarna deze op ditzelfde papier worden ingevuld. De resultaten worden door mijzelf gedigitaliseerd en in excel en SPSS verwerkt. Ook de extra toelichtingen worden door mijzelf gedigitaliseerd, gecategoriseerd, geïnventariseerd en tenslotte geanalyseerd. Tenslotte worden de hoofdpunten van de observatie gedurende de instructieperiode genoteerd en vervolgens later geanalyseerd.

8.4 Analyse

Voor de analyse van de FCI-resultaten ga ik gebruik maken van een unifactoriële variantie analyse om na te gaan of er significante verschillen bestaan tussen de verschillende groepsgemiddelden. Indien er een significant verschil blijkt te zijn tussen de verschillende groepsgemiddelden ga ik via een post-hoc analyse bekijken tussen welke groepen zich dat significante verschil bevindt. Als post-hoc analyse ga ik gebruik maken van zowel de Tukeys HSD test als de Scheffé test.

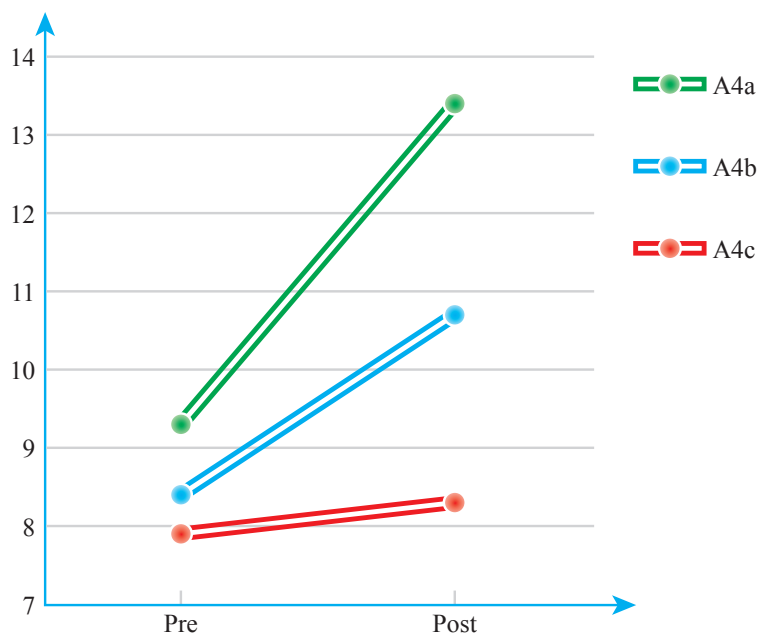
Voor de analyse van de extra toelichtingen ga ik de geïnventariseerde onderwerpen langs om te kijken of er eventuele systematische afwijkingen bestaan tussen de antwoorden (met de bijbehorende conceptuele kennis) en de daadwerkelijke (bij de student aanwezige) conceptuele kennis. Deze eventuele systematische afwijkingen zouden mogelijk de basis kunnen vormen voor het verbeteringsproces met betrekking tot vraagstellingen en formuleringen van de Nederlandse vertaling van de FCI.

De analyse van de vrije observatie geeft inzicht in mijn (subjectieve) ervaring met betrekking tot het gebruik van de ontworpen educatieve game.

9 Resultaten

9.1 FCI-Gain

De FCI-uitslag is een maat voor de conceptuele kennis met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica. De FCI-gain is het verschil tussen de post-resultaten en pre-resultaten en is tevens een maat voor de conceptuele verandering met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica. Deze FCI-gains vormen de basis voor de verdere statistische analyse en de hiermee samenhangende conclusies. In tabel 2 staan de FCI-gains per klas gesorteerd. Voor de beeldvorming omtrent de gemiddelde FCI-gains per klas staan in figuur 9 de gemiddelde FCI-scores (Pre & Post) per klas uitgezet.



Figuur 9: *Gemiddelde FCI-score per klas*

#	Klas	FCI-Gain	#	Klas	FCI-Gain
1	A4a	1	22	A4b	7
2	A4a	5	23	A4b	1
3	A4a	2	24	A4b	2
4	A4a	5	25	A4c	0
5	A4a	7	26	A4c	0
6	A4a	9	27	A4c	3
7	A4a	2	28	A4c	-1
8	A4a	2	29	A4c	0
9	A4a	1	30	A4c	-1
10	A4a	8	31	A4c	0
11	A4a	1	32	A4c	0
12	A4a	5	33	A4c	1
13	A4a	6	34	A4c	0
14	A4a	3	35	A4c	0
15	A4b	-2	36	A4c	0
16	A4b	1	37	A4c	1
17	A4b	2	38	A4c	1
18	A4b	1	39	A4c	3
19	A4b	4	40	A4c	0
20	A4b	5	41	A4c	0
21	A4b	2			

Tabel 2: *FCI-Gains*

9.2 Extra toelichtingen

Ik heb de extra toelichtingen gecategoriseerd in drie verschillende typen: *a)* conceptueel, *b)* taalkundig en *c)* interpretatie.

Conceptueel wil zeggen dat de extra toelichting verband houdt met het concept dat in de betreffende vraag ter sprake komt. Dit type toelichting komt het meeste voor. De extra toelichtingen van dit type verduidelijken de bestaande conceptuele ideeën van de betreffende studenten. Zonder uitzondering komen deze extra toelichtingen overeen met de door Hestenes et al. (1992) beschreven misconcepten.

De extra toelichtingen met betrekking tot taalkundige aspecten hebben in geen enkel geval gezorgd voor een gekozen antwoord dat niet in overeenstemming was met de bestaande conceptuele ideeën van de betreffende studenten.

Bij een enkele vraag zijn een aantal extra toelichtingen gegeven van het type interpretatie. Het betreft vraag 14 van de FCI (zie Appendix A, pag. 81). De misinterpretatie van in totaal 9 studenten (gelijk verspreid over de drie verschillende groepen) hangt samen met het feit dat het vliegtuig op papier niet beweegt in relatie tot de mogelijke banen van de bal. De FCI zou mogelijk gebaat zijn bij een herformulering van deze betreffende vraag.

9.3 Vrije observatie

Vooraf aan de observaties heb ik geen richtlijnen opgesteld over de observaties. Het doel van de observaties is om een subjectief beeld te krijgen van de inzet van de game. De reden hiervoor is mede omdat het objectieve beeld al ter sprake komt bij de resultaten van de FCI, gekoppeld aan de extra toelichtingen. Daarnaast vind ik het ‘gevoel’ tijdens een les waarin de game wordt ingezet ook belangrijk. Dit gevoel is subjectief, en afhankelijk van tal van factoren waarvan ik niet eens ga proberen om ze in kaart te brengen, laat staan ze te beïnvloeden. Dit gevoel is beperkt tot de betreffende lessen met de hierbij horende specifieke omstandigheden. Ik beperk mijn observaties slechts tot de uren waarin ik de game daadwerkelijk heb ingezet.

9.3.1 A4a

In deze klas heb ik de ‘makkelijke’ LT-versie van de game ingezet. De les begint met enthousiasme vanuit de studenten, waarschijnlijk omdat ze doorhebben dat deze les anders is dan anders (de laptopkar staat immers midden in de klas). Na het uitdelen van de laptops begin ik met de instructie met betrekking tot het downloaden en installeren van de game. Dit gaat vrij soepel, waarna ik de klas de vrije loop laat. De lokale huisregels blijven uiteraard van kracht, maar buiten dat zijn de studenten vrij om het spel te spelen en elkaar eventueel te helpen (met de beperking dat het elkaar helpen slechts betrekking heeft op ‘buren’). De studenten gaan zonder uitzondering aan de slag en er heerst

al snel een gezonde rivaliteit. Studenten laten elkaars highscores zien en ze hebben aandacht voor weinig behalve de game. De sfeer is positief en ik krijg hier en daar complimenten van de studenten die in de help-file zien dat ik de game zelf heb ontwikkeld. Ik krijg de indruk dat het grootste deel van de klas zich in de flowstate bevindt. Een aantal natuurtalenten hebben de game gauw uitgespeeld en helpen de wat mindere goden. Een enkele student die het echt niet lukt geef ik wat tips. Nadat de zoemer is gegaan blijft een deel van de klas gewoon doorspelen. Ik moet de spelbreker zijn en moeite doen om iedereen uit de flowstate te krijgen. Of ze er iets van geleerd hebben weet ik op dat moment niet, maar ik krijg sterk de indruk dat de studenten het in ieder geval naar hun zin hebben gehad, hetgeen ook blijkt uit mijn interacties gedurende en na deze les.

9.3.2 A4b

In deze klas heb ik de ‘moeilijke’ HT-versie van de game ingezet. De les begint vergelijkbaar met die van A4a en de studenten kunnen nauwelijks wachten om te beginnen. Het downloaden en installeren kost iets meer tijd, aangezien er zich tijdelijk wat netwerkproblemen voordoen. Na deze eerste perikelen zijn er al vrij snel een aantal vingers in de lucht. De meesten komen level 1 niet voorbij. Dit is gepland, waarbij ik nu de zogenaamde ‘externe interventies’ kan aanbieden, waarna de studenten hopelijk weer terug in de flowstate raken. Net als ik een aantal studenten op weg heb geholpen verschijnen er meer vingers. Een aantal heeft nog steeds moeite met level 1, een aantal heeft moeite met level 2 en het wordt mij vrij snel duidelijk dat ik mijn geplande externe interventies niet aan iedereen simultaan kwijt kan (iedereen raakt op een ander tijdstip, vanwege verschillende redenen uit de flowstate). Er zijn steeds meer studenten die zich niet in de flowstate bevinden. Er zijn ook steeds meer groepjes studenten aan het samenwerken. Ik zie dat sommige studenten het spel niet meer leuk vinden omdat ze lang moeten wachten op mijn hulp. Een aantal studenten stopt er zelfs mee, waarna ik hen, na enig aandringen, weer op het juiste spoor probeer te krijgen. Er heerst een wat chaotische sfeer en ik krijg de indruk dat niet iedereen het naar de zin heeft. Sommigen komen best ver, ook zonder hulp, maar over het algemeen sta ik in een klas waar de meerderheid continu op mijn hulp wacht. Nadat de les is afgelopen zijn er slechts weinig studenten die zich nog in de flowstate bevinden.

10 Analyse

De FCI-gains hebben betrekking op conceptuele verandering, welke een direct verband houdt met de eliminatie van misconcepten, hetgeen de reden is waarom tabel 2 (pag. 60), met hierin de FCI-gains per klas gesorteerd, de basis vormt voor de verdere statistische analyse.

Het is verleidelijk om aan de hand van de grafiek in figuur 9 (pag. 59) conclusies te trekken, gezien het verschil in gemiddelden in FCI-gains tussen de groepen. In deze figuur is echter niet de spreiding van de FCI-gains binnen deze groepen te zien, hetgeen van invloed kan zijn op het al dan niet significant zijn van de verschillen tussen de groepen onderling.

Middels een T-test is na te gaan of de gemiddelden van twee groepen significant van elkaar verschillen (O'Mahony, 1986; Sawilowsky & Blair, 1992). Gezien het feit dat er drie groepen zijn is er de noodzaak voor een unifactoriële variantie analyse (zie pag. 68), welke ongeveer overeenkomt met een T-test voor meer dan twee groepen (Hays, 1994; Hoel, 1976; Howell, 1997). Het bepalen van de significantie van de verschillen tussen de gemiddelden van meer dan twee groepen middels het uitvoeren van meerdere T-testen, zorgt voor een toename van de kans op een type-I fout (α fout, of vals positief), wat inhoudt dat er een vergrote kans bestaat dat de nul-hypothese ten onrechte wordt verworpen. De toepassing van een unifactoriële variantie analyse voorkomt dit probleem.

Om een unifactoriële variantie analyse betrouwbaar te kunnen uitvoeren, moet eerst aan een aantal voorwaarden worden voldaan, waaronder:

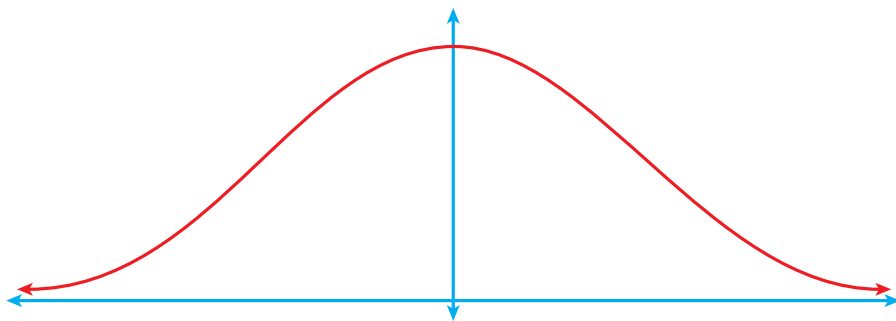
- Een normale (Gaussiaanse) verdeling van de data (zie Gaussiaanse distributie, pag. 64)
- Vergelijkbare varianties binnen de verschillende groepen (zie Levene test, pag. 67 en Welch & Brown-Forsythe tests, pag. 69)

10.1 Gaussiaanse distributie

Gangbare methoden ter bepaling of de data voldoet aan de eis betreffende een Gaussiaanse distributie zijn onder andere:

- Het bekijken van de skewness en kurtosis
- De Kolmogorov-Smirnov test
- De Shapiro-Wilk test

Een Bell-curve is een voorbeeld van een Gaussiaanse distributie (zie figuur 10).



Figuur 10: *Bell-curve*

10.1.1 Skewness & kurtosis

In tabel 3 staan de basisgegevens beschreven. Aan de hand van de verhoudingen van de skewness en de kurtosis, met de respectievelijke bijbehorende standaard fouten, is te bepalen of de data normaal (Gaussiaans) verdeeld is.

Group		Statistic	Std. Error
A4a	N	14	0,730
	Mean	4,07	
	Median	4,00	
	Variance	7,456	
	Std. Deviation	2,731	
	Minimum	1	
	Maximum	9	
	Range	8	0,597
	Interquartile Range	5	
	Skewness	0,442	
	Kurtosis	-1,108	
A4b	N	10	0,790
	Mean	2,30	
	Median	2,00	
	Variance	6,233	
	Std. Deviation	2,497	
	Minimum	-2	
	Maximum	7	
	Range	9	0,687
	Interquartile Range	3	
	Skewness	0,377	
	Kurtosis	0,716	
A4c	N	17	0,272
	Mean	0,41	
	Median	0,00	
	Variance	1,257	
	Std. Deviation	1,121	
	Minimum	-1	
	Maximum	3	
	Range	4	0,550
	Interquartile Range	1	
	Skewness	1,455	
	Kurtosis	2,008	

Tabel 3: *Basisgegevens*

Skewness heeft betrekking op het overhellen van de distributie-curve naar één kant. Een symmetrische distributie heeft een skewness van 0. Bij positieve skewness helt de distributie-curve naar rechts, terwijl bij een negatieve skewness de distributie-curve naar links helt.

Kurtosis is gelieerd aan de vorm van de curve. Een Bell-curve van een Gaussiaanse distributie heeft een kurtosis van 3. Echter, gezien het feit dat het statistische analyse programma SPSS de waarde 3 er standaard afhaalt, is praktisch gezien te zeggen dat een Gaussiaanse distributie een kurtosis heeft van 0. Een positieve kurtosis staat voor een distributie-curve waarbij de piek hoger ligt dan bij een Gaussiaanse distributie, terwijl een negatieve kurtosis staat voor een plattere distributie-curve.

De verhoudingen tussen de skewness en de bijbehorende standaard fout enerzijds en tussen de kurtosis en de bijbehorende standaard fout anderzijds hebben betrekking op de eigenschappen van de distributie. Deze verhoudingen worden beschreven door Z-scores: $Z_{skewness}$ is de verhouding van de skewness en de bijbehorende standaard fout, terwijl de $Z_{kurtosis}$ de verhouding van de kurtosis en de bijbehorende standaard fout is. In tabel 4 staan de Z-scores per klas gesorteerd.

Gangbare criteria met betrekking tot Z-scores van zowel de skewness als de kurtosis voor wat betreft het voldoen aan de voorwaarde voor Gaussiaanse distributie zijn $-2 < Z_{skewness} < 2$ en $-2 < Z_{kurtosis} < 2$. In tabel 4 is te zien dat hieraan is voldaan, met uitzondering van Klas A4c.

Klas	N	$Z_{skewness}$	$Z_{kurtosis}$
A4a	14	0,74	-0,96
A4b	10	0,55	0,54
A4c	17	2,65	1,89

Tabel 4: *Z-scores*

10.1.2 Kolmogorov-Smirnov & Shapiro-Wilk tests

Zowel de Kolmogorov-Smirnov test als de Shapiro-Wilk test worden vaak gebruikt voor het bepalen of een set data al dan niet voldoet aan een Gaussiaanse distributie (Lilliefors, 1967; Shapiro & Wilk, 1965).

In tabel 5 staan de resultaten van zowel de Kolmogorov-Smirnov test als de Shapiro-Wilk test.

Volgens zowel de Kolmogorov-Smirnov test als de Shapiro-Wilk test voldoet de data aan de voorwaarde voor wat betreft Gaussiaanse distributie, met uitzondering van klas A4c ($p < 0,05$).

Zowel de T-test als de unifactoriële variantie analyse staan erom bekend robuust te zijn met betrekking tot het al dan niet voldoen aan de voorwaarde voor Gaussiaanse verdeling (Ferguson & Takane, 2005). Er is echter geen consensus voor wat betreft de mate van het niet voldoen aan Gaussiaanse distributie van de data en de betrouwbaarheid van de unifactoriële variantie analyse. Ik neem aan dat de niet-Gaussiaanse distributie van data met betrekking tot klas A4c weinig tot geen invloed heeft op de betrouwbaarheid van de unifactoriële variantie analyse (zie Unifactoriële variantie analyse, pag. 68).

Klas	N	Kolmogorov-Smirnov		
		Statistic	df	p
A4a	14	0,205	14	0,116
A4b	10	0,248	10	0,082
A4c	17	0,349	17	0,000

Tabel 5: *Kolmogorov-Smirnov & Shapiro-Wilk tests*

10.2 Levene test

De voorwaarde met betrekking tot vergelijkbare varianties binnen de verschillende groepen kan worden bekeken met de Levene test, welke bekijkt of de varianties van de verschillende groepen onderling al dan niet significant van elkaar verschillen (Glaser, 1983).

In tabel 6 staan de gegevens van de Levene test. Hierin is te zien dat de varianties significant van elkaar verschillen ($7,068$; $p < 0,05$), waardoor we de uitgevoerde unifactoriële variantie analyse (zie Unifactoriële variantie analyse, pag. 68) niet zonder meer als betrouwbaar mogen beschouwen.

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7,068	2	38	0,00246

Tabel 6: *Levene test*

Het uitbreiden van de unifactoriële variantie analyse met een test die geen voorwaarde stelt aan onderlinge varianties geeft uitsluitel over de betrouwbaarheid van deze analyse. Twee gangbare testen, als uitbreiding op de unifactoriële variantie analyse (zie Welch & Brown-Forsythe tests, pag. 69), zijn:

1. De Welch test
2. de Brown-Forsythe test

10.3 Unifactoriële variantie analyse

In tabel 7 staan de gegevens van de unifactoriële variantie analyse, waarbij er een significant verschil tussen de gemiddelden is geconstateerd: $F(2, 38) = 11,33$; $p < 0,05$. Deze uitkomst geeft weer dat er een significant verschil is tussen de gemiddelde FCI-gains van de verschillende groepen, waarbij rekening gehouden dient te worden met het feit dat deze uitkomst geen inzicht biedt tussen welke groepen het significante verschil nu precies zit, hetgeen achteraf bepaald kan worden met een post-hoc analyse (zie Post-hoc analyse, pag. 69).

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	103,244	2	51,622	11,329	0,000138
Within Groups	173,146	38	4,556		
Total	276,390	40			

Tabel 7: *Unifactoriële variantie analyse*

10.4 Welch & Brown-Forsythe tests

Zowel de Welch test als de Brown Forsythe test veronderstellen geen vergelijkbare varianties (Brown & Forsythe, 1974; Welch, 1947, 1951). Wanneer een unifactoriële variantie analyse een significant verschil tussen de gemiddelden laat zien, waarbij zowel de Welch test als de Brown-Forsythe test ook een significante uitkomst hebben, mogen we veronderstellen dat de unifactoriële variantie analyse betrouwbaar is. In tabel 8 staan de gegevens van de Welch test en de Brown-Forsythe test, beide met een significante uitkomst, waardoor verondersteld mag worden dat de uitgevoerde unifactoriële variantie analyse (zie pag. 68) betrouwbaar is.

	Statistic (a)	df1	df2	Sig.
Welch	12,084	2	17,246	0,00052
Brown-Forsythe	9,967	2	24,633	0,00067

Tabel 8: *Welch & Brown-Forsythe tests*

10.5 Post-hoc analyse

Teneinde te kunnen bepalen tussen welke groepen het significante verschil zit is een post-hoc analyse nodig. Doorgaans wordt hiervoor de Tukey HSD (Honestly Significant Difference) test gebruikt. Een ook veel gebruikte test hiervoor is de Scheffé test (Scheffe, 1959), welke doorgaans wat conservatiever is dan de Tukey HSD test. Het gebruik van een conservatieve methode introduceert de mogelijkheid van type-II fouten (β fouten, of vals negatief), wat inhoudt dat ten onrechte de nul-hypothese wordt aanvaard.

Omdat de Levene test heeft aangetoond dat de varianties binnen de verschillende groepen significant van elkaar verschillen (zie Levene test, pag. 67), moet de post-hoc analyse worden uitgebreid met een methode waarbij geen vergelijkbare varianties worden verondersteld. Een gangbare post-hoc analyse die hieraan voldoet is de Games-Howell test (Games & Howell, 1976).

In tabel 9 staan de uitkomsten van de diverse post-hoc analyses, waarbij kan worden opgemerkt dat alle drie de verschillende methoden vergelijkbare uitkomsten hebben (verschil tussen A4a en A4c van 3,660; $p < 0,05$), waardoor verondersteld mag worden dat het significante verschil, zoals bepaald door de unifactoriële variantie analyse (pag. 68), zit tussen klas A4a en A4c.

	Group (I)	Group (J)	Mean Diff. (I) – (J)	Std. Err.	Sig.	95% Conf. Int.	
						U	L
Tukey HSD	A4a	A4b	1,771	0,884	0,12494	–0,38	3,93
		A4c	3,660(*)	0,770	0,00008	1,78	5,54
	A4b	A4a	–1,771	0,884	0,12494	–3,93	0,38
		A4c	1,888	0,851	0,08067	–0,19	3,96
	A4c	A4a	–3,660(*)	0,770	0,00008	–5,54	–1,78
		A4b	–1,888	0,851	0,08067	–3,96	0,19
Scheffé	A4a	A4b	1,771	0,884	0,14817	–0,48	4,02
		A4c	3,660(*)	0,770	0,00014	1,70	5,62
	A4b	A4a	–1,771	0,884	0,14817	–4,02	0,48
		A4c	1,888	0,851	0,09864	–0,28	4,06
	A4c	A4a	–3,660(*)	0,770	0,00014	–5,62	–1,70
		A4b	–1,888	0,851	0,09864	–4,06	0,28
Games- Howell	A4a	A4b	1,771	1,075	0,24899	–94	4,49
		A4c	3,660(*)	0,779	0,00061	1,66	5,66
	A4b	A4a	–1,771	1,075	0,24899	–4,49	0,94
		A4c	1,888	0,835	0,10359	–0,36	4,14
	A4c	A4a	–3,660(*)	0,779	0,00061	–5,66	–1,66
		A4b	–1,888	0,835	0,10359	–4,14	0,36

Tabel 9: Tukey HSD, Scheffé & Games-Howell tests (*: Sig.< 0,05)

11 Conclusies

Er zijn twee mogelijke uitkomsten van de unifactoriële variantie analyse:

1. NUL-Hypothese
2. Alternatieve Hypothese

De NUL-hypothese veronderstelt dat de gemiddelde FCI-gains voor alle drie de klassen gelijk zijn ($\mu = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$). De alternatieve hypothese veronderstelt dat de NUL-hypothese onjuist is. De uitgevoerde unifactoriële variantie analyse (pag. 68) vertelt ons dat de NUL-hypothese onjuist is: $F(2, 38) = 11,33$; $p < 0,05 \Rightarrow$ Er is een significant verschil. De post-hoc analyse (pag. 69) leert ons dat het significante verschil zit tussen klas A4a en A4c. De verschillen tussen A4a en A4b enerzijds en tussen A4b en A4c anderzijds zijn niet significant.

11.1 Antwoord onderzoeksvraag

Het antwoord op de onderzoeksvraag:

“Hoe kan ik, door middel van het ontwerpen c.q. gebruiken van een educatieve game, een bijdrage leveren aan het elimineren van misconcepten met betrekking tot de eerste twee wetten van de Newtoniaanse mechanica?”

luidt:

“De inzet van de ‘makkelijke’ LT-versie van de ontworpen educatieve game ‘Space Challenge’ heeft een significante positieve bijdrage geleverd aan het elimineren van misconcepten op het gebied van de Newtoniaanse mechanica”.

11.2 Bespreking

Het onderzoek bevat een aantal onvolkomenheden. Ten eerste is het onderzoek niet dubbel-blind uitgevoerd en ten tweede heb ik geen gebruik gemaakt van een willekeurige selectie van testpersonen. Er is gebruik gemaakt van 3 parallelklassen, waarbij moet worden opgemerkt dat een van deze klassen (A3c) normaal gesproken een andere docent heeft voor natuurkunde dan de andere 2 klassen. Tevens zijn ook de klassen niet willekeurig geselecteerd (en hebben een ongelijk aantal studenten). Verder is er een groot aantal factoren die de uitslag mogelijk beïnvloed zou kunnen hebben. Ten slotte is het aantal testpersonen niet erg hoog. Er is hierdoor geen absolute zekerheid dat het antwoord op de onderzoeksvraag juist is.

Ondanks deze onvolkomenheden levert dit onderzoek een sterke indicatie dat het gebruik van de ‘makkelijke’ LT-versie van ‘Space Challenge’ een positieve bijdrage kan leveren aan de eliminatie van misconcepten met betrekking tot de Newtoniaanse mechanica. Dit onderzoek geeft mijns inziens een gegronde reden tot uitbreiding en/of continuering van dit onderzoek, hetgeen tot meer inzicht zal leiden in het proces met betrekking tot het elimineren van misconcepten door middel van het ontwerpen en inzetten van educatieve games.

Mijn eigen observatie met betrekking tot het inzetten van de makkelijke versie van ‘Space Challenge’ is een subjectieve ervaring, waarbij ik weinig rekening heb gehouden met betrekking tot het vermijden van de ‘valkuilen’ van observatie. Indien meerdere personen dit onderzoek zouden continueren, zouden meerdere subjectieve ervaringen waardevolle aanvullingen kunnen zijn. Mijn ervaring was zeer positief en ik ben erg benieuwd naar de ervaringen van anderen met vergelijkbaar onderzoek onder verschillende omstandigheden.

11.3 Suggesties voor verder onderzoek

11.3.1 Implementatie educatieve game

Er zijn meerdere manieren waarop educatieve games in de lespraktijk geïmplementeerd zouden kunnen worden. Ik heb gedurende dit onderzoek zowel *a)* de langetermijn flowstate implementatie als *b)* de kortetermijn flowstate implementatie bestudeerd (zie Methodiek, pag. 51).

Gezien de resultaten en mijn ervaringen met betrekking tot dit onderzoek is het verleidelijk om te adviseren om vooral door te gaan met het ontwikkelen en implementeren van games waarbij studenten zich langdurig en continu in de flowstate bevinden. Hier is op zich niets mis mee, ware het niet dat ik het sterke vermoeden heb dat games, waarbij studenten regelmatig uit de flowstate raken, mogelijk meer potentieel bieden met betrekking tot conceptuele verandering en met name de snelheid waarmee deze conceptuele verandering plaats zou kunnen vinden.

Wanneer studenten zich langdurig in de flowstate bevinden zijn er weinig momenten waarop er transfer kan plaatsvinden van spontane conceptuele kennis naar formele conceptuele kennis. Het wisselen tussen de gamecyclus en de leer-cyclus vindt dan hoofdzakelijk plaats tussen de lessen waarbij de game ingezet wordt.

Wanneer studenten met een hogere frequentie wisselen tussen de gamecyclus en leercyclus zijn er meer momenten waarop spontane conceptuele kennis kan worden getransformeerd naar formele concepten, hetgeen tot gevolg zou kunnen hebben dat *a)* er in kortere tijd meer conceptuele verandering optreedt en *b)* deze conceptuele kennis sterker wordt verankerd in het langetermijn geheugen en het huidige conceptuele netwerk.

Mijn ervaring in dit onderzoek, met betrekking tot de kortetermijn flowstate implementatie, is dat het uit de flowstate raken van meerdere studenten op verschillende tijden (en als gevolg van verschillende oorzaken) leidt tot een bepaalde mate van chaos (zie Vrije observatie, pag. 61), hetgeen mijns inziens tot gevolg heeft gehad dat het mogelijke potentieel van frequente en individuele wisselingen tussen de gamecyclus en leercyclus slecht tot uiting is gekomen. Om dit mogelijke potentieel optimaal te kunnen benutten is het noodzakelijk

het ondervonden probleem van chaos zoveel mogelijk te vermijden cq. onder-
vangen.

Teneinde meer inzicht te krijgen in het mogelijke potentieel van de kortetermijn
flowstate implementatie, zou dit verder onderzocht moeten worden, waarbij de
chaos-valkuil zoveel mogelijk vermeden dient te worden (zie Externe interven-
ties).

11.3.2 Externe interventies

Ik ben van mening dat externe interventies (en de manier waarop deze externe
interventies worden ingezet) een sleutelrol kunnen spelen bij het elimineren
van het chaos probleem bij de kortetermijn flowstate implementatie van een
educatieve game.

Gedurende dit onderzoek heb ik, als externe interventies, voornamelijk en
veelvuldig gebruik gemaakt van mondelinge hints en tips tijdens de momenten
waarop Space Challenge is ingezet. Dit is geen probleem wanneer het aantal
studenten dat uit de flowstate raakt klein is en waarbij er een relatief groot
tijdsinterval zit tussen het uit de flowstate raken van de verschillende stu-
denten (kortom: vergelijkbare omstandigheden met een langetermijn flowstate
implementatie).

Bij het onregelmatig en individueel uit de flowstate raken van studenten wordt
de toepassing van mondelinge interventies echter problematisch. Gezien de
onvermijdelijkheid van het onregelmatig en individueel uit de flowstate raken
van studenten bij de kortetermijn flowstate implementatie, is het noodzakelijk
hiervoor alternatieve externe interventies te ontwikkelen, welke de studenten
de mogelijkheid biedt hier individueel gebruik van te maken, hetgeen weer tot
gevolg heeft dat studenten zelfstandig terug kunnen keren naar de flowstate.

Als externe interventie voor de kortetermijn flowstate implementatie zou geko-
zen kunnen worden voor schriftelijke en/of electronische (digitaal beschikbare)
hulpmiddelen, waarbij studenten die uit de flowstate raken op dát specifieke
moment geheel zelfstandig de leercyclus kunnen doorlopen, waarna ze vervol-
gens terug kunnen keren naar de flowstate.

Deze concept-maps, handleidingen, naslagwerken of digitaal beschikbare FAQ's (Frequently Asked Questions) zouden kunnen worden ontwikkeld op basis van anticipatie op de specifieke in-game problemen waardoor studenten uit de flowstate raken. Indien enkele studenten uit de flowstate raken vanwege alternatieve redenen, is het, gezien de nu verkregen vergelijkbaarheid van omstandigheden met de langetermijn flowstate implementatie, uiteraard alsnog mogelijk gebruik te maken van mondelinge interventies.

11.3.3 Meetinstrumenten

Gedurende dit onderzoek heb ik gebruik gemaakt van de Nederlandse vertaling van de FCI. Het probleem bij zowel de Nederlandstalige als Engelstalige versie is de formulering van vraag 14 (zie Appendix A, pag. 81). Er wordt gevraagd naar de baan van een bowlingbal die uit een vliegtuig valt. Het probleem bij deze vraag is het statische plaatje in combinatie met de beschrijving van de vraag cq. situatie. Ik denk dat een en ander minder verwarrend is indien het vliegtuig minder statisch en meer dynamisch wordt weergegeven, bijvoorbeeld door meerdere afbeeldingen van het vliegtuig voor elkaar te plaatsen (in een lagere 'opacity'), hetgeen beweging in de betreffende richting suggereert.

Persoonlijk vind ik het gebruik van een vrije observatie als meetinstrument een waardevolle aanvulling op de, normaal gesproken zo objectief mogelijke, beeldvorming omtrent de betreffende onderwerpen. Achteraf gezien zou het mijns inziens nog waardevoller zijn indien meerdere personen simultaan zouden participeren in een vrije observatie, teneinde meerdere subjectieve meningen, welke zijn opgedaan onder dezelfde omstandigheden, te kunnen vergelijken.

11.3.4 Probleemoplossend vermogen

Gedurende dit onderzoek heb ik mij vooral beziggehouden met conceptuele verandering, hetgeen echter volledig los staat van probleem-oplossend vermogen (zie Cognitieve stijl, conceptuele kennis & probleem-oplossend vermogen, pag. 13). Conceptuele kennis, zonder deze te kunnen toepassen via probleem-oplossende heuristiek, is als een fiets zonder wielen. Mijns inziens zou het zeer zinvol zijn de mogelijke relatie tussen educatieve games en probleem-oplossend vermogen verder te onderzoeken.

Referenties

- Ates, S., & Cataloglu, E. (2007). The effects of students' cognitive styles on conceptual understandings and problem-solving skills in introductory mechanics. *Research in Science & Technological Education*, 25, 167–178.
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (1999). *How people learn: Brain, Mind, Experience and School*, (expanded edition ed.). Washington DC: National Academy Press.
- Brown, M., & Forsythe, A. (1974). Robust tests for the equality of variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69, 364–367.
- Clerk, D., & Rutherford, M. (2000). Language as a confounding variable in the diagnosis of misconceptions. *International Journal of Science Education*, 22, 703–717.
- Dilber, R., & Duzgun, B. (2008). Effectiveness of analogy on students' success and elimination of misconceptions. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 174–183.
- Egenfeldt-Nielsen, S. (2005). *Beyond Edutainment: Exploring the educational potential of computer games*. Ph.D. thesis, IT-University of Copenhagen, Copenhagen.
- Eysenck, M., & Keane, M. (2005). *Cognitive Psychology: A students' handbook*. New York: Psychology Press.
- Ferguson, G., & Takane, Y. (2005). *Statistical Analysis in Psychology and Education*, (6 ed.). Montreal, Quebec: McGraw Hill Ryerson Limited.
- Filius, R., & Akkerman, S. (2008). Onderwijs met educatieve games bij de universiteit utrecht. Tech. rep., Expertisecentrum ICT in het Onderwijs., Utrecht.
- Games, P., & Howell, J. (1976). Pairwise multiple comparison procedures with unequal n's and/or variances: A monte carlo study. *Journal of Educational Statistics*, 1, 113–125.
- Glaser, R. (1983). Levene's robust test of homogeneity of variances. In *Encyclopedia of Statistical Sciences* 4, (pp. 608–610). New York: Wiley.
- Harinck, F. (2009). *Basisprincipes praktijkonderzoek*. Antwerpen-Apeldoorn: Garant.

- Hays, W. (1994). *Statistics*. Orlando, Florida: Harcourt Brace.
- Henderson, C. (2002). Common concerns about the force concept inventory. *The Physics Teacher*, 40, 542–547.
- Hestenes, D., & Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30, 159–166.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141–158.
- Hoel, P. (1976). *Elementary Statistics*. New York: Wiley.
- Howell, D. (1997). *Statistical Methods for Psychology*. London: Duxbury Press.
- Kearny, P., & Pivec, M. (2007). Recursive loops of game-based learning: a conceptual model. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, (pp. 2546–2553). Chesapeake: AACE.
- Kolb, D. (1984). *Experiential Learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Krause, S. (2008). Effect of pedagogy on learning by conceptual change for deformation-processing misconceptions in structure-property relationships in materials engineering classes. Tech. rep., Arizona State University, Phoenix.
- Lilliefors, H. (1967). On the kolmogorov-smirnov tests for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399–402.
- McDermott, L. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37(7), 24–32.
- McNiff, J., & Whitehead, J. (2005). *Action Research for Teachers: A practical guide*. New York: David Fulton.
- Muller, D., Bewes, J., Sharma, M., & Reimann, P. (2008). Saying the wrong thing: improving learning with multimedia by including misconceptions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 144–155.

- Muller, D., & Sharma, M. (2007). Tackling misconceptions in introductory physics using multimedia presentations. In *Proceedings of Science Learning and Teaching Research Conference*. Sydney: UniServe Science.
- O'Mahony, M. (1986). *Sensory Evaluation of Food: Statistical Methods and Procedures*. CRC Press.
- Pannese, L., & Carlesi, M. (2007). Games and learning come together to maximise effectiveness: The challenge of bridging the gap. *British Journal of Educational Technology*, 38(3), 438–454.
- Pivec, M., & Moretti, M. (2008). *Game-based learning Discover the pleasure of learning*. Lengerich: Pabst Science.
- Ponte, P. (2006). *Onderwijs van eigen makelij*. Soest: Nelissen.
- Ramlo, S. (2008). Validity and reliability of the force and motion conceptual evaluation. *American Journal of Physics*, 76, 882–886.
- Rieber, L., & Noah, D. (2008). Games, simulations and visual metaphors in education: antagonism between enjoyment and learning. *Educational Media International*, 45(2), 77–92.
- Sawilowsky, S., & Blair, R. (1992). A more realistic look at the robustness and type ii error properties of the t test to departures from population normality. *Psychological Bulletin*, 111, 353–360.
- Scheffe, H. (1959). *The Analysis of Variance*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality. *Biometrika*, 52(3), 591–599.
- Squire, K., Giovanetto, L., Devane, B., & Durga, S. (2005). From users to designers: Building a self-organizing game-based learning environment. *Tech-Trends: Linking Research & Practice to Improve Learning*, 49(5), 34–43.
- Stewart, J., Griffin, H., & Stewart, G. (2007). Context sensitivity in the force concept inventory. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3, artikel 010102.
- Thornton, R., Kuhl, D., Cummings, K., & Marx, J. (2009). Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 5, artikel 010105.

- Thornton, R., & Sokoloff, D. (1998). Assessing student learning of newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66, 338–352.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Cambridge: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and Language*. Cambridge: MIT Press.
- Wattanakasiwich, P. (2008). Assessing student conceptual understanding of force and motion with model analysis. *Chiang Mai University Journal*, 7, 307–315.
- Welch, B. (1947). The generalization of student's problem when several different population variances are involved. *Biometrika*, 34, 28–35.
- Welch, B. (1951). On the comparison of several mean values: An alternative approach. *Biometrika*, 38, 330–336.
- White, B. (1984). Designing computer games to help physics students understand newton's laws of motion. *Cognition and Instruction*, 1(1), 69–108.
- Witkin, H., Goodenough, D., Moore, C., & Cox, P. (1977). Field dependent and field independent cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47, 1–64.

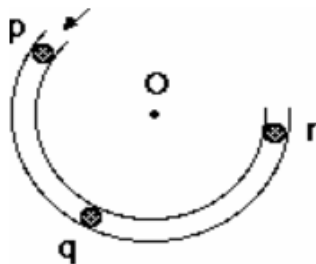
Appendix A Nederlandse vertaling FCI

1. Twee metalen ballen zijn even groot, maar de een is twee maal zo zwaar als de ander. De ballen worden tegelijkertijd van het dak van een gebouw met slechts één verdieping gegooid. De tijd die verstrijkt voordat de ballen de grond raken duurt:
 - A) ongeveer half zo lang voor de zware bal dan voor de lichte bal.
 - B) ongeveer half zo lang voor de lichte bal dan voor de zware bal.
 - C) ongeveer hetzelfde voor allebei de ballen.
 - D) voor de zware bal minder dan voor de lichte bal, maar niet per sé half zo lang.
 - E) voor de lichte bal minder dan voor de zware bal, maar niet per sé half zo lang.
2. De twee metalen ballen uit de vorige vraag rollen met identieke snelheid van een horizontale tafel, waarna ze op de grond terecht komen. In deze situatie:
 - A) raken beide ballen op ongeveer dezelfde (horizontale) afstand van de tafel de grond.
 - B) raakt de zware bal de grond op ongeveer de helft van de (horizontale) afstand waarop de lichte bal de grond raakt.
 - C) raakt de lichte bal de grond op ongeveer de helft van de (horizontale) afstand waarop de zware bal de grond raakt.
 - D) Raakt de zware bal de grond op minder (horizontale) afstand dan de lichte bal, maar niet per sé de helft van de (horizontale) afstand.
 - E) Raakt de lichte bal de grond op minder (horizontale) afstand dan de zware bal, maar niet per sé de helft van de (horizontale) afstand.
3. Een steen die men laat vallen van het dak van een laag gebouw:
 - A) bereikt zijn maximale snelheid vrij snel na het loslaten van de steen en valt daarna met constante snelheid verder naar beneden.
 - B) blijft versnellen gedurende de val, omdat de zwaartekracht aanzienlijk sterker wordt naarmate de steen de grond nadert.
 - C) blijft versnellen gedurende de val, omdat er een constante zwaartekracht op uitgeoefend wordt.
 - D) valt, vanwege de natuurlijke neiging van alles om op het aardoppervlak stil te liggen.
 - E) valt, vanwege een gecombineerd effect van zowel de zwaartekracht als de kracht van de lucht die de steen omlaag duwen.
4. Een grote vrachtwagen botst met een kleine personenauto. Gedurende de botsing:
 - A) oefent de vrachtwagen een grotere kracht uit op de personenauto dan omgekeerd.
 - B) oefent de personenauto een grotere kracht uit op de vrachtwagen dan omgekeerd.
 - C) oefent geen van beide een kracht uit op de ander; de personenauto wordt verpletterd, gewoonweg omdat hij in de weg staat van de vrachtwagen.
 - D) oefent de vrachtwagen een kracht uit op de personenauto, maar de personenauto oefent geen kracht uit op de vrachtwagen.
 - E) oefent de vrachtwagen een even grote kracht uit op de personenauto als de personenauto op de vrachtwagen.

Gebruik onderstaande gegevens en figuur voor het beantwoorden van vraag 5 en 6.

De figuur hiernaast laat een wrijvingsloze baan zien in de vorm van een stuk uit een cirkel met als centrum "O". De baan is verankerd op een wrijvingsloze tafel. Het betreft een bovenaanzicht op de tafel. Luchtwrijving is te verwaarlozen.

Een bal wordt met hoge snelheid in de baan geschoten bij punt "p" en verlaat de baan bij punt "r".



Neem de volgende krachten in overweging:

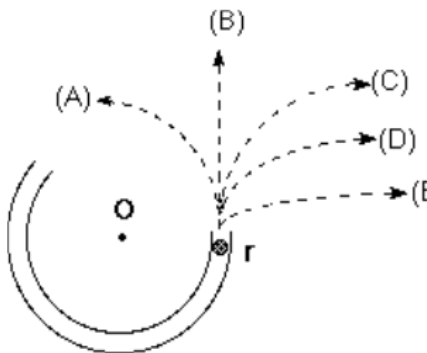
1. zwaartekracht die naar beneden werkt
 2. kracht van de baan in de richting van q naar O
 3. kracht in de richting van de beweging van de bal
 4. kracht van O naar q
5. Welke van de vier bovenstaande krachten werken op de bal binnen de wrijvingsloze baan op punt "q"?

- A) alleen 1
- B) 1 en 2
- C) 1 en 3
- D) 1, 2 en 3
- E) 1, 3 en 4

6. Welke baan zal de bal gaan volgen op de wrijvingsloze tafel, nadat hij de baan heeft verlaten bij punt "r"?

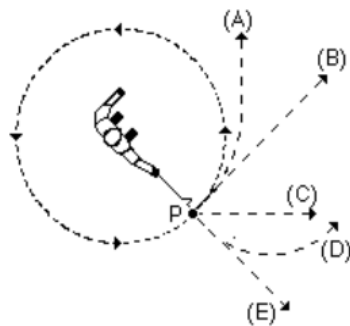
Zie de figuur hiernaast.

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E



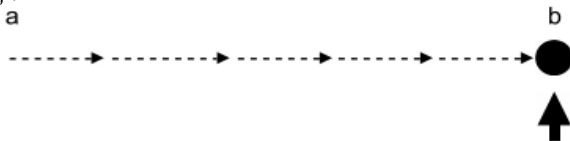
7. Een stalen bal is bevestigd aan een touw en wordt in een cirkelvormige baan geslingerd in een horizontaal vlak, zoals te zien is in de figuur hiernaast (bovenaanzicht). Bij punt "P" breekt plotseling het touw, vlakbij de bal. Wanneer deze gebeurtenissen worden bekeken van boven, zoals in de figuur hiernaast, welke baan zal de bal gaan volgen, nadat het touw is gebroken?

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E



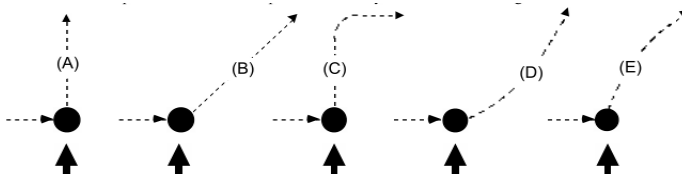
Gebruik onderstaande gegevens en figuur voor het beantwoorden van vraag 8 t/m 11.

Onderstaand figuur stelt het bovenaanzicht van een ijshockey puck voor die met constante snelheid glijdt in de richting van a naar b op een horizontaal wrijvingsloos vlak. Luchtwrijving is te verwaarlozen. Als de puck punt b passeert, ontvangt hij een korte hevige klap in de richting van de pijl.



8. Welke baan zal de puck volgen, na het krijgen van de klap in de richting van de pijl? (zie onderstaand figuur, wederom een bovenaanzicht)

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E

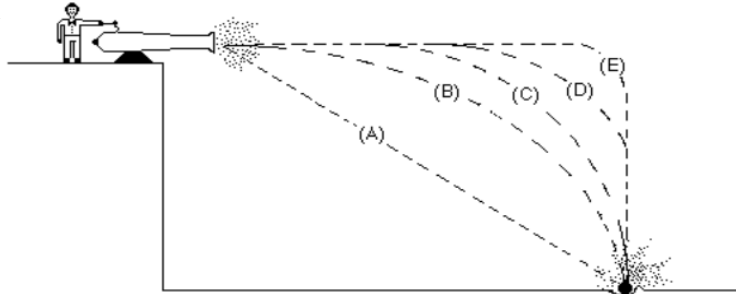


De beginsnelheid van de puck is v_0 . De snelheid die de puck zou krijgen van de klap, wanneer deze stil zou liggen op het moment van de klap, is v_k .

9. De snelheid van de puck, direct na het krijgen van de klap is:
- A) gelijk aan de snelheid v_0 die de puck al had voor de klap.
 - B) gelijk aan de snelheid v_k , welke het resultaat is van de klap en volledig onafhankelijk is van v_0 .
 - C) gelijk aan de rekenkundige optelling van v_0 en v_k .
 - D) kleiner dan v_0 of v_k .
 - E) groter dan v_0 of v_k , maar kleiner dan de rekenkundige optelling van v_0 en v_k .
10. Langs de wrijvingsloze baan, gekozen in vraag 8, blijft de snelheid van de puck na de klap:
- A) constant
 - B) continu toenemen
 - C) continu afnemen
 - D) eerst even toenemen, daarna afnemen
 - E) een tijdje constant, daarna afnemen
11. Na de klap werken de volgende krachten op de puck:
- A) Zwaartekracht.
 - B) Zwaartekracht en een horizontale kracht in de richting van de beweging van de puck.
 - C) Zwaartekracht, een opwaartse kracht van het oppervlak en een horizontale kracht in de richting van de beweging van de puck.
 - D) Zwaartekracht en een opwaartse kracht van het oppervlak.
 - E) Geen (er is geen enkele kracht werkzaam op de puck).

12. Een bal wordt horizontaal afgeschoten door een kanon op de rand van een ravijn, zoals te zien in onderstaand figuur. Welke baan zal de kogel volgen?

A) A
B) B
C) C
D) D
E) E

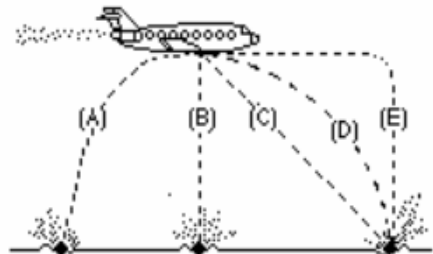


13. Een bal wordt door iemand recht omhoog gegooid. We bekijken de beweging van de bal, nadat deze de hand heeft verlaten die hem omhoog heeft gegooid, en voordat de bal de grond raakt. Luchtwrijving is te verwaarlozen. Gedurende deze beweging van de bal werken de volgende krachten op de bal:

A) Zwaartekracht en een steeds minder wordende opwaartse kracht.
B) Een steeds minder wordende opwaartse kracht, tot de bal op het hoogste punt komt; op de weg naar beneden werkt er een steeds groter wordende zwaartekracht als de bal steeds verder richting de grond valt.
C) Een bijna constante zwaartekracht en een steeds minder wordende opwaartse kracht, tot de bal op het hoogste punt komt; op de weg naar beneden werkt er een constante zwaartekracht.
D) Alleen een constante zwaartekracht.
E) Geen van bovenstaande combinaties. De bal valt op de grond vanwege zijn natuurlijke neiging om op de grond te liggen.

14. Een bowlingbal valt per ongeluk uit een laadruimte van een vliegtuig, welke horizontaal vliegt, zoals te zien in de figuur hiernaast. Bekeken vanuit het standpunt van iemand die op de grond stilstaat, welke baan zal de bowlingbal volgen, nadat het uit het vliegtuig valt?

A) A
B) B
C) C
D) D
E) E



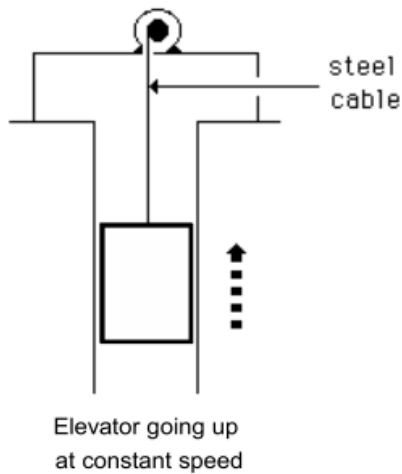
Gebruik onderstaande gegevens en figuur voor het beantwoorden van vraag 15 en 16.

Een zware vrachtwagen is kapot en wordt geduwd door een kleine personenauto, zoals te zien in onderstaand figuur.



15. Gedurende het op snelheid komen van de duwende personenauto geldt:
- A) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto even groot is als de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - B) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto kleiner is dan de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - C) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto groter is dan de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - D) De motor van de personenauto werkt, dus de personenauto oefent kracht uit op de vrachtwagen, maar de motor van de vrachtwagen is stuk, dus de vrachtwagen oefent geen kracht uit op de personenauto. De vrachtwagen wordt simpelweg geduwd omdat hij in de weg van de personenauto staat.
 - E) Zowel de vrachtauto als de personenauto oefenen geen kracht uit op elkaar. De vrachtwagen wordt simpelweg geduwd omdat hij in de weg van de personenauto staat.
16. Wanneer de duwende personenauto eenmaal op snelheid is, en deze vervolgens constant houdt, geldt:
- A) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto even groot is als de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - B) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto kleiner is dan de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - C) dat de kracht die de auto uitoefent op de vrachtauto groter is dan de kracht die de vrachtauto uitoefent op de personenauto.
 - D) De motor van de personenauto werkt, dus de personenauto oefent kracht uit op de vrachtwagen, maar de motor van de vrachtwagen is stuk, dus de vrachtwagen oefent geen kracht uit op de personenauto. De vrachtwagen wordt simpelweg geduwd omdat hij in de weg van de personenauto staat.
 - E) Zowel de vrachtauto als de personenauto oefenen geen kracht uit op elkaar. De vrachtwagen wordt simpelweg geduwd omdat hij in de weg van de personenauto staat.

17. Een lift wordt met constante snelheid omhoog getakeld door een stalen kabel, zoals te zien in onderstaand figuur. Alle wrijvings-effecten zijn verwaarloosbaar. In deze situatie geldt:
- A) dat de opwaartse kracht van de kabel groter is dan de neerwaartse zwaartekracht.
 - B) dat de opwaartse kracht van de kabel gelijk is aan de neerwaartse zwaartekracht.
 - C) dat de opwaartse kracht van de kabel kleiner is dan de neerwaartse zwaartekracht.
 - D) dat de opwaartse kracht van de kabel groter is dan de som van de neerwaartse zwaartekracht en de neerwaartse kracht van de lucht.
 - E) Geen van bovenstaande combinaties is juist. De lift gaat omhoog omdat de kabel steeds korter wordt, niet omdat deze kabel een opwaartse kracht uitoefent op de lift.



De figuur hiernaast laat iemand zien die schommelt aan een touw, waarvan het beginpunt hoger ligt dan "A".

Neem de volgende krachten in beschouwing:

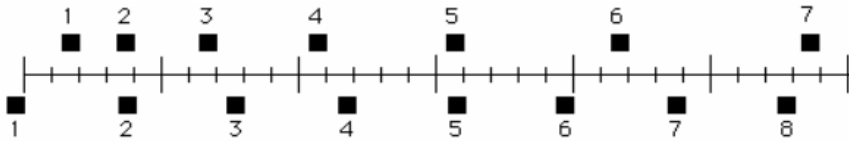
1. Zwaartekracht
2. Spankracht in het touw, van "A" richting "O".
3. Een kracht in de bewegingsrichting van de schommelend persoon.
4. Een kracht in de richting van "O" naar "A".

18. Welke van de bovenstaande krachten werken op de schommelend persoon in punt "A"?

- A) alleen 1
- B) 1 en 2
- C) 1 en 3
- D) 1, 2 en 3
- E) 1, 3 en 4

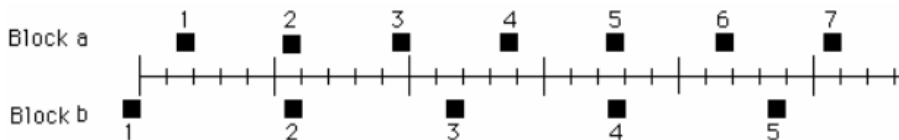


19. In onderstaand figuur zijn twee apparaatjes aan het werk geweest die langs een meetlint (een boven en een onder) naar rechts bewogen en iedere 0,20 seconde een blokje lieten vallen.



Hebben de apparaatjes ergens langs het meetlint dezelfde snelheid?

- A) Nee
 - B) Ja, bij het tweede blokje
 - C) Ja, bij het vijfde blokje
 - D) Ja, zowel bij het tweede als het vijfde blokje
 - E) Ja, ergens tussen het plaatsen van het derde en vierde blokje
20. In onderstaand figuur zijn twee apparaatjes aan het werk geweest die langs een meetlint (een boven: "a", en een onder: "b") naar rechts bewogen en iedere 0,20 seconde een blokje lieten vallen.

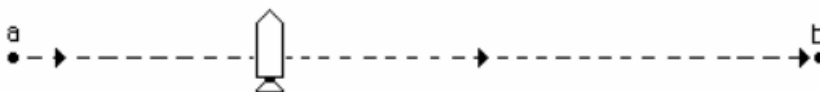


De acceleratie van apparaat "a" en "b" zijn als volgt gerelateerd:

- A) De acceleratie van "a" is groter dan die van "b".
- B) De acceleratie van "a" is gelijk aan dan die van "b"; en hij is groter dan 0.
- C) De acceleratie van "b" is groter dan die van "a".
- D) De acceleratie van "a" is gelijk aan dan die van "b"; en hij is 0.
- E) Er is niet genoeg informatie gegeven om hier iets over te kunnen zeggen.

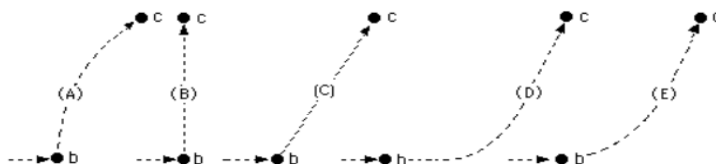
Gebruik onderstaande gegevens en figuur voor het beantwoorden van vraag 21 t/m 24.

Een raket glijdt zijwaarts van “a” richting “b”, zoals te zien in onderstaand figuur. Wanneer de raket bij “b” aankomt wordt de stuwraket ontstoken en levert continu een opwaartse kracht op de raket. Wanneer de raket een punt “c” bereikt, wordt de stuwraket weer uitgezet.



21. Welke van de onderstaande banen volgt de raket tussen “b” en “c”?

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E

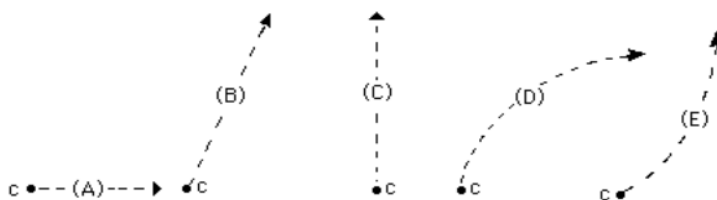


22. Gedurende de verplaatsing van de raket van “b” naar “c” is de snelheid:

- A) constant
- B) steeds groter
- C) steeds kleiner
- D) een tijdje steeds groter, en daarna constant
- E) een tijdje constant, en daarna steeds kleiner

23. Op punt “c” wordt de stuwraket uitgezet, waarna de opwaartse kracht op de raket accuut verdwijnt. Welke van de onderstaande banen zal de raket volgen na punt “c”?

- A) A
- B) B
- C) C
- D) D
- E) E



24. Na het passeren van punt “c” is de snelheid:

- A) constant
- B) steeds groter
- C) steeds kleiner
- D) een tijdje steeds groter, en daarna constant
- E) een tijdje constant, en daarna steeds kleiner

25. Iemand oefent continu een constante horizontaal gerichte kracht uit op een grote doos. Als gevolg van deze kracht beweegt de doos zich in de richting van de kracht, met constante snelheid " v_0 ". De toegepaste constante kracht:
- A) is even groot als het gewicht van de doos.
 - B) is groter dan het gewicht van de doos.
 - C) is even groot als de totale tegenwerkende kracht op de doos.
 - D) is groter dan de totale tegenwerkende kracht op de doos.
 - E) is groter dan het gewicht van de doos, of de totale tegenwerkende kracht op de doos.
26. Als de persoon uit de vorige vraag een tweemaal zo grote kracht uitoefent op dezelfde doos, dan beweegt de doos:
- A) met een constante snelheid welke tweemaal zo groot is als de constante snelheid uit de vorige vraag.
 - B) met een constante snelheid welke groter is dan de constante snelheid uit de vorige vraag, maar niet per sé tweemaal zo groot.
 - C) eventjes met een constante snelheid welke groter is dan de constante snelheid uit de vorige vraag; daarna wordt de snelheid steeds groter.
 - D) eventjes met een toenemende snelheid; daarna met constante snelheid.
 - E) met een steeds toenemende snelheid.
27. Als de persoon uit de vorige vraag plotseling stopt met het uitoefenen van de kracht op de doos, dan zal de doos:
- A) accuut stoppen.
 - B) eventjes met constante snelheid doorbewegen; daarna steeds langzamer bewegen tot stilstand.
 - C) accuut steeds langzamer bewegen tot stilstand.
 - D) blijven bewegen met constante snelheid.
 - E) eerst een tijdje in snelheid toenemen; daarna steeds langzamer bewegen tot stilstand.

28. In de figuur hiernaast zijn twee studenten te zien die in identieke stoelen tegenover elkaar zitten. Student “a” heeft een massa van 95 kg en student “b” heeft een massa van 77 kg. Student “a” plaatst zijn voeten op de knieën van student “b”, waarna student “a” plotseling zijn benen krachtig strekt. Beide stoelen komen hierdoor in beweging. Gedurende de afzet van student “a”, terwijl de voeten de knieën nog raken, geldt dat:



- A) geen van beide studenten een kracht uitoefenen op de ander.
- B) student “a” een kracht uitoefent op student “b”, maar student “b” oefent geen kracht uit op student “a”.
- C) beide studenten een kracht uitoefenen op elkaar, maar dat student “b” een grotere kracht uitoefent.
- D) beide studenten een kracht uitoefenen op elkaar, maar dat student “a” een grotere kracht uitoefent.
- E) beide studenten een even grote kracht op elkaar uitoefenen.

29. Een lege stoel staat stil op de grond. Neem de volgende krachten in beschouwing:

- 1. Zwaartekracht (neerwaarts gericht)
- 2. Opwaartse kracht (uitgeoefend op de stoel door de grond)
- 3. Een netto neerwaartse kracht, uitgeoefend door de lucht op de stoel.

Welke van bovenstaande krachten worden er daadwerkelijk uitgeoefend op de stilstaande stoel?

- A) alleen 1
- B) 1 en 2
- C) 2 en 3
- D) 1, 2 en 3
- E) geen van allen; er zijn helemaal geen krachten werkzaam op een stilstaande stoel.

30. Ondanks een sterke wind, slaagt een tennisser erin met zijn racket een bal over het net te slaan, zodanig dat deze aan de kant van de tegenstander de grond raakt. Neem de volgende krachten in beschouwing:

- 1. Zwaartekracht (neerwaarts gericht)
- 2. Een kracht door de “slag” op de bal
- 3. Een kracht, uitgeoefend door de lucht op de bal

Welke van bovenstaande krachten worden er daadwerkelijk uitgeoefend op de tennisbal, nadat deze het contact met de racket van de tennisser heeft verloren, maar voordat de bal op de grond komt?

- A) alleen 1
- B) 1 en 2
- C) 1 en 3
- D) 2 en 3
- E) 1, 2 en 3

Appendix B Tijdsplanning (2009/2010)

Activiteit	September	Oktober	November	December	Januari	Februari	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Augustus
Plandeel												
Verkenning												
Eisen Ontwerp												
Meetinstr.												
Daq. & Analyse												
Tijdsplanning												
Bibliografie												
Onderzoeksvoorstel												
Ontwikkeldeel												
Operationalisatie												
Ontwerp												
Testen												
Uitvoeringdeel												
Uitvoeren Metingen												
Data-Acquisitie												
Verwerking Resultaten												
Analyse												
Evaluatie												
Verslagdeel												

Tabel 10: *Tijdsplanning*

Nawoord

Ik heb erg veel gehad aan mijn begeleider, dr. M.C. Koops, die mij nuttige handreikingen heeft gegeven met betrekking tot onderzoeksmethodiek en het uitvoeren van een literatuuronderzoek. Tevens weet hij een plezierige en interessante werksfeer te creëren, welke een positieve bijdrage heeft geleverd aan het uitvoeren van dit onderzoek. Ook wil ik C. v.d. Molen bedanken voor het ter beschikking stellen van zijn klassen. Daarnaast wil ik ing. J.J.H. v.d. Hoeven bedanken voor het ontwerpen van de omslag, enkele grafische elementen van de educatieve game ‘Space Challenge’ en taalkundige verbeteringen. Verder wil ik ir. C.A.M. Huijben bedanken voor mijn introductie met L^AT_EX en de vi-editor tijdens zijn afstudeer-onderzoek. Tevens wil ik A.L.M. Hoevenaar-Beglinger bedanken voor haar deskundige hulp met betrekking tot het elimineren van talloze spelfouten. Ten slotte wil ik ing. H.L. Hoevenaar en C.J.J. Heesters bedanken voor de financiële en materiële investeringen met betrekking tot dit onderzoek.

Tijdens het uitvoeren van dit onderzoek is mij opgevallen dat er, in literatuur met betrekking tot educatieve games, veel wordt gesproken over conceptuele verandering, terwijl er weinig wordt gesproken over hoe je deze conceptuele verandering zou kunnen meten. In literatuur met betrekking tot misconcepten en conceptuele verandering wordt echter juist veel gesproken over het meten en zichtbaar maken van conceptuele kennis en conceptuele verandering, terwijl educatieve games vrijwel nooit genoemd worden als mogelijke oplossingen binnen deze context. Ironisch is dat bepaalde concepten, specifiek betrekking hebbend op dit gebied (misconcepten, educatieve games, etc.), vrij consequent in hokjes worden gestopt, terwijl juist hierbij het lateraal denken kan zorgen voor integratie en creatie van nieuwe nuttige kennis.

We zouden moeten leren van de geschiedenis van educatieve games, zonder ons hierdoor te laten beperken (Egenfeldt-Nielsen, 2005). Het is te vergelijken met de metafoor van een beker; de bruikbaarheid van een beker zit in de leegheid; schenk iets in een beker die al vol is en de beker zal overstromen (Confucius, lang geleden). Met andere woorden: je kunt pas iets nieuws leren wanneer je mentaal open staat voor nieuwe kennis, waarna je pas objectief kunt oordelen.

Ten slotte ben ik van mening dat het denken in oplossingen, in plaats van problemen, hindernissen transformeert tot uitdagingen, en struikelblokken tot opstapjes, om op deze manier een hoger niveau te bereiken.

