

UNIVERSITEIT TWENTE.

Montessori College  Twente

Peer Instruction

Een op Harvard ontwikkelde methode, toegepast op vwo 5.

Enschede, mei 2010

Auteur

Ir. H.S.P. Bouwmans
docent natuurkunde,
Montessori College Twente, Hengelo
peerinstruction@bouwmans.eu

Begeleider

Dr. J.T. van der Veen
vakdidacticus natuurkunde,
ELAN instituut, Universiteit Twente
j.t.vanderveen@utwente.nl

Tweede beoordelaar

Ir. H.J. Pol
vakdidacticus natuurkunde,
ELAN instituut, Universiteit Twente
h.j.pol@utwente.nl

DRAFT COPY

*“You damn sadist,” said mr. Cummings,
“you try to make people think.”
- Ezra Pound, Casto 89*

Voorwoord

Dit is een verslag van mijn onderzoek naar het gebruik van Peer Instruction in de klas. Peer Instruction is een methode die begin jaren 90 is ontwikkeld in de Verenigde Staten en daar erg succesvol blijkt. De methode lijkt een oplossing te bieden voor problemen die ikzelf ervaar bij het geven van natuurkunde lessen. Met mijn onderzoek probeer ik uit te vinden of deze methode ook in het Nederlandse onderwijs succesvol kan zijn. Hiervoor heb ik de methode uitgeprobeerd op de een vwo 5 klas van het Montessori College Twente te Hengelo.

In de inleiding schets ik het probleem waar ik tegenaan loop tijdens het geven van mijn lessen. Ik laat zien hoe Peer Instruction in de Verenigde Staten soortgelijke problemen succesvol heeft aangepakt. Ik eindig de inleiding met het formuleren van mijn onderzoeksvraag. In hoofdstuk 2 beschrijf ik in detail hoe Peer Instruction in zijn werk gaat om vervolgens in hoofdstuk 3 te beschrijven hoe ik de methode in de praktijk heb toegepast. Vanaf hoofdstuk 4 geef ik ieder hoofdstuk antwoord op één van de deel- of bijvragen om vervolgens in hoofdstuk 9 conclusies te kunnen trekken en aanbevelingen te kunnen doen.

Met dit onderzoek hoop ik een nieuw gereedschap in handen te krijgen bij het geven van mijn lessen. Tevens hoop ik hiermee mijn eerstegraads onderwijsbevoegdheid te verkrijgen.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Probleemstelling	6
1.2	Ontstaansgeschiedenis van Peer Instruction	6
1.3	Resultaten in het buitenland	7
1.4	Onderzoeksformulering	9
2	Peer Instruction	12
2.1	Opbouw van een les	12
2.2	Het maken van een ConcepTest	14
2.3	Enkele voordelen op een rijtje	16
2.4	De les laten voorbereiden	17
3	Opzet lessenserie	19
4	Conceptueel begrip	23
4.1	Force Concept Inventory	23
4.2	Resultaten FCI	24
5	Kwantitatief vragen oplossen	27
5.1	Eindtoets	27
5.2	Resultaten	27
6	Draagvlak onder leerlingen	29
6.1	Attitude	29
6.2	Overige resultaten leerling enquête	30
7	Praktische uitvoerbaarheid	32
7.1	Gebruikte hard- en software	32
7.2	Tips voor een werkbare les	33
7.3	Conclusie praktische uitvoerbaarheid	35
8	Overige bevindingen	37
8.1	Vergelijking conceptueel begrip met het buitenland	37
8.2	Vergelijking sterke en zwakke leerlingen	37
8.3	Vergelijking jongens en meisjes: the gender gap	39
9	Conclusies en aanbevelingen	41
	Referenties	44
	Appendices	46
	Appendix A: Tabellen	46
	Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"	49
	Appendix C: Resultaten FCI per vraag	63
	Appendix D: Leerling enquête	73
	Appendix E: Resultaten leerling enquête	76
	Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen	78
	Appendix G: Script voor les met stemkastjes	119

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

De snelheid waarmee leerlingen zich grote hoeveelheden theorie eigen moeten maken ligt zo hoog dat leerlingen niet de tijd nemen om echt na te denken over waar ze mee bezig zijn. Leerlingen kiezen er vaak voor om zoveel mogelijk opgaven te maken in zo min mogelijk tijd. Hierbij is het vaak veel gemakkelijker om formules, feitjes en oplosstrategieën uit je hoofd te leren, dan dat het is om de achterliggende natuurkunde te begrijpen.

Dat een groot deel van de leerlingen zo te werk gaat is niet verwonderlijk. Ondanks deze oppervlakkige manier van werken blijken de leerlingen namelijk prima in staat om de juiste antwoorden te vinden op de opgaven uit het boek. Veel opgaven kunnen worden “opgelost” door de oplosstrategie uit een voorbeeldopgave te memoriseren en simpelweg na te apen.^{1,18} Op eenzelfde manier kunnen leerlingen ook de proefwerken en later ook het centraal eindexamen halen.

Ondanks dat de resultaten (in de vorm van cijfers) ogenschijnlijk in orde zijn, is dit niet de gewenste manier van werken. Uiteindelijk is het belangrijk dat de leerlingen ook daadwerkelijk snappen wat ze doen, want daar hebben ze in een eventuele vervolgopleiding veel meer aan. Daar komt nog bij dat deze oppervlakkige manier van werken slecht is voor de motivatie van de leerlingen en daarmee ook het imago van het vak natuurkunde. Hoe saai is het vak natuurkunde als dat verworden is tot het domweg invullen van de juiste getallen in de juiste formule?

De vraag is nu hoe je leerlingen toch zover kan krijgen dat ze zich gaan richten op het begrijpen van de theorie in plaats van op het maken van meters. Een methode genaamd Peer Instruction kan hier mogelijk een oplossing bieden. Bij deze methode worden leerlingen gedwongen om na te denken over de natuurkundige concepten. De hoop is natuurlijk dat leerlingen daar uiteindelijk het nut van gaan inzien. Dat ze gaan beseffen dat het begrijpen van de natuurkundige concepten nuttiger is dan het maken van meters. Dat het op termijn wellicht zelfs meer tijdefficiënt is en dat het vooral ook veel leuker is.

1.2 Ontstaansgeschiedenis van Peer Instruction

²Peer Instruction is begin jaren 90 ontwikkeld door Eric Mazur. In de jaren voor Peer Instruction doceerde hij inleidende natuurkunde op de Universiteit van Harvard. Zijn lessen bestonden toen uit lezingen, aangevuld met levendige demonstraties. Aan het einde van de colleges bleken zijn leerlingen in staat te zijn om moeilijke problemen op te lossen. Daarbij gaven zijn leerlingen op evaluaties aan tevreden te zijn over hem als docent. Naar zijn beste weten waren er weinig problemen met zijn lessen.

Dit veranderde toen hij in 1990 een aantal artikelen van Halloun en Hestenes onder ogen kreeg. Zij beschrijven dat leerlingen over hardnekkige pre-concepties bezitten aangaande alledaagse natuurkundige verschijnselen. Hun conclusie was dat conventionele lessen weinig veranderen aan deze pre-concepties.^{9,10}

Hoewel Eric Mazur in eerste instantie niet wilde geloven dat dit ook voor zijn leerlingen zou gelden, deed hij toch de proef op de som. Hij voorzag zijn tentamens steeds van een tweetal opgaven over hetzelfde concept. De eerste vraag van het tentamen is een ogenschijnlijke simpele, en puur kwalitatieve vraag. De laatste vraag van het tentamen is een moeilijke kwantitatieve opgave over hetzelfde onderwerp. De andere vragen op zijn tentamens stonden tussen deze twee vragen in en gingen over andere onderwerpen.

De uitkomst van dit experiment bleek een ware openbaring voor hem. Relatief veel leerlingen bleken erg slecht te scoren op de "simpele" kwalitatieve vraag. Daarnaast bleek dat er weinig correlatie was tussen de score op kwalitatieve vraag en score op kwantitatieve vraag (die over hetzelfde concept ging). Opmerkelijk was vooral het grote aantal leerlingen dat goed scoorde op de kwantitatieve vraag en tegelijkertijd slecht scoorde op de kwalitatieve vraag. Dit gebeurde veel meer dan omgekeerd.

Hieruit trok Eric Mazur enkele conclusies.¹⁸ Ten eerste dat het voor leerlingen goed mogelijk is om conventionele problemen op te lossen zonder de onderliggende natuurkunde te begrijpen. Ten tweede dat docenten heel gemakkelijk misleid kunnen worden te denken dat zijn of haar leerlingen de stof beheersen, terwijl dat misschien niet zo is. Voor leerlingen geldt hetzelfde. Zij geloven dat ze de stof beheersen en raken vervolgens gefrustreerd als hun eerder gevonden oplosstrategie niet blijkt te werken voor een ander probleem.

Dit verklaarde voor Eric Mazur een aantal observaties die hij eerder had gedaan en voor veel natuurkunde docenten herkenbaar zullen zijn: 'het aanhoudende verzoek van leerlingen om meer problemen in de les op te lossen ten koste van de tijd voor uitleg', 'de onverklaarbare blunders van ogenschijnlijk goede leerlingen' en 'de algemene frustraties bij leerlingen over het vak natuurkunde'.

In de jaren die volgde heeft Eric Mazur gezocht naar een manier om de aandacht van de leerlingen te verleggen naar een het begrijpen van onderliggende concepten, zonder dat dat ten koste zou gaan van hun vermogen om kwantitatieve problemen op te lossen. Dit heeft geleid tot de lesmethode die nu bekend staat als Peer Instruction.

1.3 Resultaten in het buitenland

Inmiddels zijn we ongeveer twee decennia verder en heeft Peer Instruction de kans gehad zich verder te ontwikkelen en te bewijzen in de praktijk. Duizenden docen-

1 Inleiding

ten over de hele wereld hebben Peer Instruction gebruikt in hun lessen op niveaus van middelbare school tot universiteit.² Er is inmiddels genoeg onderzoeksdata om uitspraken te kunnen doen over de effectiviteit van Peer Instruction.

Resultaten van Eric Mazur²

De beheersing van de stof door leerlingen is met twee standaard tests gemeten, de *Force Concept Inventory*¹³ (vanaf nu afgekort tot FCI) en de *Mechanics Baseline Test*¹² (vanaf nu afgekort met MBT). Beide tests richten zich op de beheersing van de newtoniaanse mechanica.

De FCI meet het conceptueel begrip en door dit voor en na de lessenserie te meten kan de *average normalized gain* worden berekend. Dit is een maat van de toename van het conceptueel begrip (zie paragraaf 4.1 voor meer uitleg over de FCI en de *average normalized gain*). De *average normalized gain* is in het jaar dat Peer Instruction is ingevoerd meer dan verdubbeld en is in de jaren daarna blijven stijgen.

De MBT is een andere test om leerlingen en lesmethodes internationaal te vergelijken. In tegenstelling tot de FCI is deze test niet geschikt om voor instructie af te nemen. Voor deze test is het namelijk vereist dat de leerlingen een basistraining in de mechanica hebben gehad. De MBT test zowel het conceptueel begrip als het vermogen van leerlingen om kwantitatieve problemen op te lossen. De resultaten op deze test lieten een lichte stijging zien bij de invoering van Peer Instruction.

De conclusie van Eric Mazur is dan ook dat het conceptueel begrip was toegenomen. Tegelijkertijd is het vermogen van leerlingen om kwantitatieve problemen op te lossen na invoering van Peer Instruction vergelijkbaar of beter dan met traditionele lessen. Tevens gaf de meerderheid van zijn leerlingen op evaluaties aan de nieuwe interactieve aanpak te waarderen.

Resultaten van buiten Harvard²

Deze goede resultaten bleken niet exclusief voor Harvard. Eenzelfde conclusie kon getrokken worden na een onderzoek op een *2-year college*.¹⁶ De FCI pre-test score op dit *2-year college* ligt met 43% beduidend lager dan op Harvard, waar een pre-test score van 71% normaal is. De behaalde *average normalized gain* na Peer Instruction is op beide instellingen vergelijkbaar en voor beide beter dan met traditionele instructie.

In 1999 is er een enquête gedaan onder 700 docenten die Peer Instruction of een daarop lijkende methode gebruiken. Van deze enquêtes werden 384 geklassificeerd als zijnde Peer Instruction. De niveaus waarop de respondenten les gaven staat in tabel 1.

De 67% die lesgeeft op de universiteit doet dat voornamelijk in de bachelor fase en

Tabel 1: Verdeling respondenten enquête.² Te zien is in welke type onderwijs de respondenten op de enquête lesgeven. (N=384)

instelling	percentage
universiteit	67%
<i>2- and 4-year colleges</i> (hogeschool)	22%
<i>highschool</i> (secundair onderwijs)	5%
<i>community college</i> (secundair onderwijs)	3%

typisch voor inleidende natuurkunde vakken. Dit is niet verwonderlijk, want daar is Peer Instruction oorspronkelijk voor ontwikkeld. In de resultaten van de enquête is expres geen data opgenomen van docenten die lesgeven op Harvard omdat zij bij de ontwikkeling van Peer Instruction hebben geholpen.

De respondenten is gevraagd om kwalitatief verslag uit te brengen over hoe Peer Instruction het conceptueel begrip van de leerlingen heeft beïnvloed. Van de respondenten geeft 60% ondubbelzinnig aan dat het begrip van de leerlingen is toegenomen dankzij het gebruik van Peer Instruction. 20% zegt dat het ietwat toeneemt. 19% ziet geen verschil en 2% ziet een afname in begrip.

Een aantal docenten heeft ook kwantitatieve data verzameld. Bij 30 lessenseries is een FCI pre- en post-test afgenomen. De behaalde *average normalized gain* ligt veel hoger dan met traditionele lessen bereikt wordt (zie paragraaf 4.1).

70% van de respondenten gaf aan dat ze een positievere evaluatie hebben gehad na het gebruik van Peer Instruction, terwijl 5% aangaf voornamelijk negatieve reacties te hebben gehad. Veel docenten melden ook nog dat de uitval met Peer Instruction veel minder is dan met traditionele lessen.

De resultaten van de enquête bevestigen de bevindingen van Eric Mazur. Het conceptueel begrip van de leerlingen neemt toe door het gebruik van Peer Instruction. Ondanks dat deze methode zich richt op het begrijpen, blijven leerlingen in staat om de kwantitatieve opgaven te maken. Over het algemeen reageren de leerlingen positief op het gebruik van Peer Instruction.

1.4 Onderzoeksformulering

In het buitenland en met name op universiteiten in de Verenigde Staten is Peer Instruction een geschikte methode gebleken om de problemen zoals beschreven in paragraaf 1.1 aan te pakken. De vraag is nu of Peer Instruction ook geschikt is om toe te passen in het Nederlandse voortgezet onderwijs. Dit is absoluut niet vanzelfsprekend omdat:

1 Inleiding

- **cultuurverschil:**

Het Nederlandse onderwijs verschilt van het Amerikaanse.

- **niveaueverschil:**

Peer Instruction is ontwikkeld voor colleges in de eerste jaren van de universiteit. Het is ook voornamelijk getest op studenten in het hoger onderwijs.

- **leeftijdsverschil:**

De leerlingen in het voortgezet onderwijs zijn een stuk jonger dan de studenten waarvoor de methode is ontwikkeld.

De vraag zoals hierboven beschreven zal niet in dit onderzoek worden beantwoord, omdat daar een veel uitgebreider onderzoek voor nodig is. Dit onderzoek zal zich beperken tot de volgende vraag:

Is Peer Instruction een reëel alternatief als methode om natuurkundelessen te geven in vwo 5?

Deze vraag kan pas bevestigend beantwoord worden als de volgende deelvragen bevestigend beantwoord kunnen worden:

- **Neemt het conceptueel begrip toe?**

Om dit te testen wordt er voor en na de lessenserie de FCI afgenomen. De toename van het conceptueel begrip wordt pas voldoende geacht als de *average normalized gain* minimaal gelijk aan 0.3 is.

- **Blijft het kwantitatief vragen oplossen op niveau?**

Aan het einde van de lessenserie zal een proefwerk worden afgenomen met daarin slechts kwantitatief op te lossen vragen. Het kwantitatief vragen oplossen blijft op niveau als de leerlingen gemiddeld minimaal 55% van de te behalen punten scoren. Dit zou normaliter resulteren in het cijfer 6.

- **Is er voldoende draagvlak bij de leerlingen?**

Aan het einde van de lessenserie en nadat de leerlingen hun cijfer hebben gekregen zal een enquête worden afgenomen. Hoe dit precies wordt beoordeeld staat beschreven in paragraaf 6.1. Uitgangspunt is dat leerlingen de lessenserie op zijn minst hetzelfde waarderen als de normale lessen.

- **Is de methode praktisch werkbaar voor de docent?**

De methode is praktisch werkbaar als een doorsnee docent in staat is om een goed lopende lessenserie neer te zetten, waarbij die docent geen werkzaamheden of inspanningen hoeft te verrichten die je redelijkerwijs niet kan verwachten van een docent. Dit criterium zal worden beoordeeld aan de hand van observaties tijdens de lessenserie.

Daarnaast zullen de volgende vragen ook nog beantwoord worden:

- **Hoe scoren de leerlingen op de FCI post-test in vergelijking met buitenlandse leerlingen op verschillende niveaus?**

Een vergelijk zal gemaakt worden met de FCI pre-test scores van studenten in het Amerikaanse hoger onderwijs.

- **Wat is het effect van Peer Instruction als er een vergelijking wordt gemaakt tussen sterke en zwakke leerlingen?**

De toename van het conceptueel begrip zal worden uitgesplitst naar sterke en zwakke leerlingen. Hierbij zal het proefwerkgemiddelde van het voorgaande jaar bepalen welke leerlingen sterk zijn en welke zwak.

- **Wat is het effect van Peer Instruction als er een vergelijking wordt gemaakt tussen jongens en meisjes.**

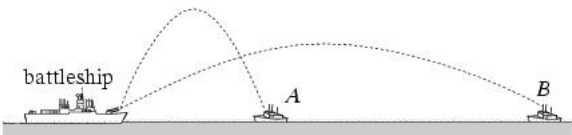
De toename van het conceptueel begrip zal worden uitgesplitst naar jongens en meisjes. Het *gender*-effect van Peer Instruction zal worden vergeleken met ervaringen uit het buitenland.

2 Peer Instruction

2.1 Opbouw van een les

^{2,4,18}Het doel van Peer Instruction is om de leerlingen actief bij de les te betrekken en hun aandacht op de onderliggende concepten te vestigen. In tegenstelling tot een traditionele les, waarin het tekstboek tot in detail wordt behandeld, blijft de uitleg hier beperkt tot de kernpunten. Een belangrijk onderdeel van de methode is de ConcepTest, waarbij in multiple-choice vorm een enkel onderwerp wordt getoetst. Een voorbeeld van zo'n ConcepTest staat in figuur 1.

Een fregat schiet tegelijkertijd twee kanonskogels af op twee vijandige schepen. De kogels volgen de baan die in het plaatje te zien is. Welk schip wordt als eerste geraakt?



A battleship is on the left, firing two cannons at two enemy ships, A and B, on the right. The cannonball paths are shown as dashed arcs. The path to ship A is higher and longer than the path to ship B. Ship A is closer to the battleship than ship B.

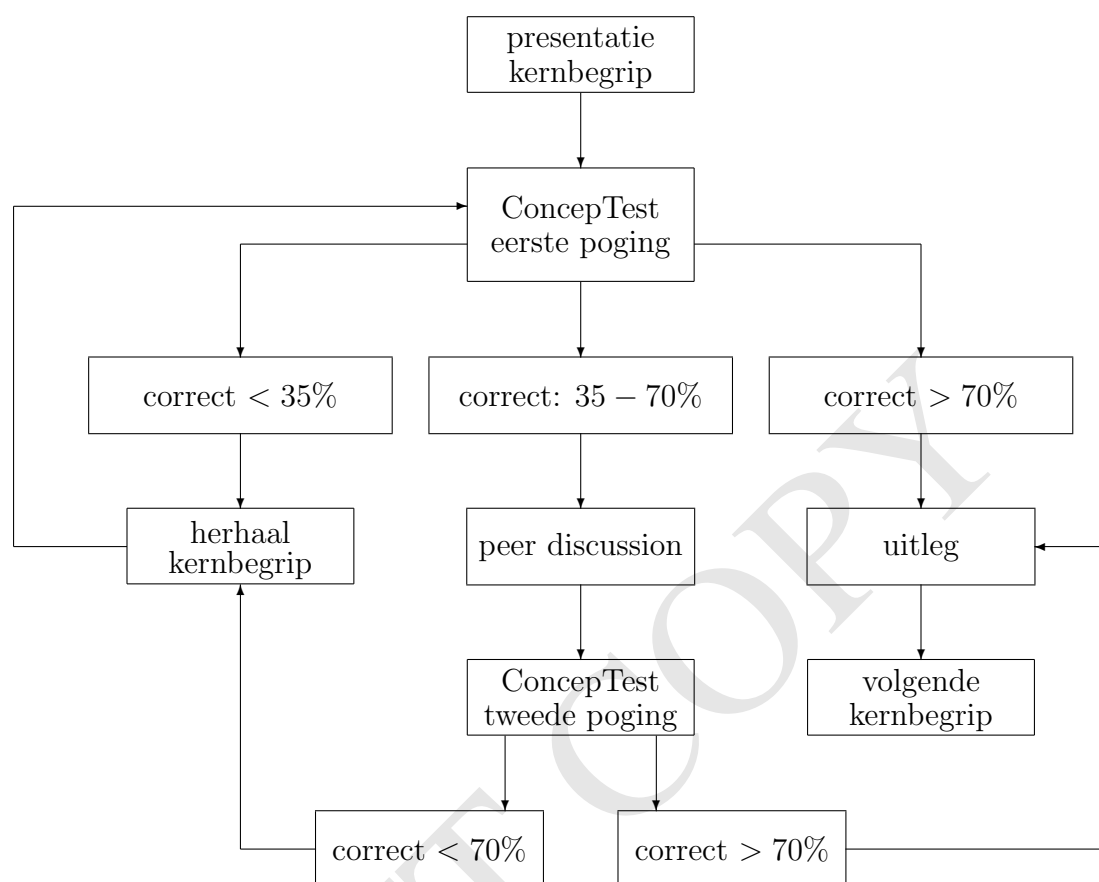
A schip A
B schip B
C beide tegelijkertijd
D dat kun je niet weten

Figuur 1: Voorbeeld van een ConcepTest.

Een ConcepTest als deze wordt op de beamer getoond. De leerlingen geven individueel antwoord op de vraag middels een stemkastje of door het ophouden van gekleurde kaartjes. De uitkomsten van de ConcepTests bepalen de loop van de les. De inhoud van een les wordt dus voortdurend gestuurd door *realtime feedback* van de leerlingen. Hoe dit te werk gaat is schematisch weergegeven in figuur 2

Na een korte presentatie van een kernpunt volgt een bijpassende ConcepTest. De leerlingen krijgen 1 tot 2 minuten om individueel na te denken en een antwoord te geven op de vraag. Deze antwoorden geven ze door aan de docent. Een mooie manier om dit te doen is met behulp van stemkastjes (hoewel het ook met gekleurde kaartjes kan). Het voordeel van stemkastjes is dat het snel gaat. De docent kan direct zien hoeveel procent van de leerlingen het begrijpt. Bovendien kunnen alle gegevens eenvoudig digitaal worden opgeslagen zodat de docent achteraf op zijn gemak kan bekijken welke leerlingen extra hulp nodig hebben.

Als grofweg 35% tot 70% van de leerlingen het goede antwoord weet te geven, dan



Figuur 2: Schematische weergave van het verloop van een les met Peer Instruction.¹⁶

kan de *peer discussion* beginnen. De leerlingen hebben dan nog niet te horen gekregen wat het goede antwoord is. Ook weten ze niet hoeveel procent van de leerlingen het goede antwoord heeft gegeven. Tijdens de *peer discussion* bediscussiëren leerlingen hun antwoord met elkaar. De docent zal ondertussen de leerlingen aanmoedigen om een andere leerling te overtuigen van hun antwoord met behulp van natuurkundige argumenten.

Na 2 tot 4 minuten beëindigt de docent de discussies en krijgen de leerlingen opnieuw de mogelijkheid om een antwoord te geven op de gestelde vraag. Als er nu, doordat een aantal leerlingen hun antwoord hebben herzien, voldoende leerlingen het goede antwoord hebben gegeven dan volgt er nog een korte uitleg van de docent. Daarmee is dit kernbegrip afgesloten en kan aan het volgende kernbegrip begonnen worden. Als te weinig leerlingen het antwoord goed hebben, dan begint het proces vooraan met een andere ConcepTest over hetzelfde kernbegrip.

De *peer discussion* vindt alleen maar plaats als 35% tot 70% van de leerlingen het goede antwoord geven op een nieuwe ConcepTest. De ConcepTest moet daarop ontworpen zijn. Als minder dan 35% van de leerlingen het antwoord goed hebben, dan

is de ConcepTest niet goed (bijvoorbeeld niet eenduidig genoeg) of er zijn gewoonweg te weinig leerlingen die het onderwerp begrijpen om een zinnige discussie in de klas te hebben. Er vindt dan geen *peer discussion* plaats. In plaats daarvan wordt het kernbegrip opnieuw uitgelegd en begint de cyclus vooraan met een andere ConcepTest over *hetzelfde* kernbegrip. Als er daarentegen heel veel leerlingen de eerste vraag goed hebben, dan is er te weinig te winnen met *peer discussion*. In dat geval kan het kernbegrip worden afgesloten met een korte uitleg van de docent. Daarna begint de cyclus weer vooraan, maar dan met een *ander* kernbegrip.

Het blijkt dat de opbrengst van *peer discussion* het grootste is als de score op de eerste ConcepTest ongeveer 50% is.⁴ De percentages van 35% en 70% zijn arbitraire keuzes.¹⁶ Waar de grens precies gelegd wordt is aan de individuele docenten en kan per situatie verschillen.

Indien er voldoende goede ConcepTests voor handen zijn, dan wordt op deze manier de les voortdurend aangepast aan de behoefte van de leerlingen. Onderwerpen die goed begrepen zijn worden automatisch snel afgehandeld. Onderwerpen die moeilijk blijken wordt automatisch langer bij stilgestaan. Hierbij is het steeds de meerderheid van de klas die bepaalt of een onderwerp is begrepen. Ook de leerlingen die normaliter zich stilhouden in de klas zijn hierin meegenomen.

2.2 Het maken van een ConcepTest

²Een goede ConcepTest moet problemen van leerlingen blootleggen en moet door leerlingen gebruikt kunnen worden om belangrijke concepten te kunnen verkennen. De foute antwoorden moeten aannemelijk zijn en waar mogelijk gebaseerd op typische misconcepties van leerlingen.

De basis criteria (maar geen harde regels) voor een ConcepTest zijn als volgt:²

- is gericht op een enkel concept waarmee leerlingen moeite hebben
- conceptueel begrip is nodig (niet slechts het invullen van getallen in formules)
- geeft aannemelijke foute antwoorden
- is niet ambigu
- is niet te makkelijk en niet te moeilijk

Bij het ontwikkelen van ConcepTests en met name bij het bedenken van de foute antwoorden kan er gebruik gemaakt worden van de antwoorden van leerlingen om typische misverstanden te identificeren. Deze antwoorden kunnen van (huiswerk)opdrachten en proefwerken gehaald worden. Met name open vragen zijn hiervoor zeer geschikt. Ook de discussies in de klas tijdens *peer discussion* zijn een goede bron van informatie. Als deze niet beschikbaar zijn, dan zal er gebruik moeten worden gemaakt van literatuur over veel voorkomende misverstanden (zoals het boek van Arons¹).

Verder moet er op gelet worden dat een vraag, die eenduidig is voor de bedenker, ambigu kan zijn voor de leerlingen of verkeerd kan worden geïnterpreteerd. *Try-outs* op een kleine groep leerlingen kan helpen deze problemen aan het licht brengen. Als laatste moet ervoor gewaakt worden dat een ConcepTest uitdagend is, maar niet te moeilijk. Ideaal geeft 50% van de leerlingen het antwoord goed bij het voor het eerst zien van de ConcepTest.⁴

Er zijn veel varianten op ConcepTests te bedenken:

- **open vragen**

Deze kunnen op verschillende manier worden ingezet. Laat bijvoorbeeld leerlingen een antwoord op een open vraag in hun schrift zetten. Zet daarna de multiple-choice vragen op het scherm en laat de leerlingen kiezen welk antwoord het beste past. De mogelijke antwoorden kunnen van tevoren bedacht zijn, maar kunnen ook al lopend door de klas verzameld worden (dit laatste werkt vooral goed als het antwoord een diagram of grafiek is).

- **kwantitatieve problemen**

Hiervoor moet meer tijd gereserveerd worden voor het individueel denken. Een manier op dit toe te passen zou zijn om leerlingen een oplosstrategie te laten bedenken voor een opgave waarbij de oplossing meerdere stappen vereist. Als er numerieke antwoorden gegeven worden, dan moet erop gelet worden dat de foute antwoorden van de ConcepTest verkregen kunnen worden door het maken van denkfouten en niet door rekenkundige fouten.

- **klassikale demonstratie**

Klassikale demonstraties waarbij leerlingen slechts observeren blijken weinig effectief voor het begrip van de leerlingen.³ Het nut van een demonstraties kan significant worden verbeterd door de leerlingen vooraf de uitkomst te laten voorspellen. Dit is gemakkelijk te integreren in een les die is gebaseerd op Peer Instruction. De demonstratie kan geformuleerd worden in de vorm van een ConcepTest en de leerlingen kunnen ieder voor zich een voorspelling doen m.b.v. de stemkastjes. De effectiviteit van een klassikale demonstratie kan nog verder worden verhoogt door de leerlingen de tijd te geven om de uitkomst met elkaar na te bespreken (nabespreken betekent in dit geval dat de leerlingen de uitkomst al weten). Dit levert echter slechts een marginale meerwaarde op en gezien de hoeveelheid tijd die het kost maakt dit het nabespreken weinig efficiënt. Het is waarschijnlijk beter om *peer discussion* te laten plaatsvinden als de leerlingen de uitkomst van de demonstratie nog niet weten. De les verloopt dan zoals beschreven in paragraaf 2.1.

2.3 Enkele voordelen op een rijtje

Feedback (aan docent en leerling)

Een goede docent zal nog tijdens de les proberen de les aan te passen aan de behoefte van de leerlingen. Hiervoor is *feedback* van de leerlingen nodig. Leerlingen kunnen zelf met *feedback* komen, bijvoorbeeld als ze aangeven welke problemen ze tegenkwamen bij zelfstudie, of als leerlingen vragen stellen aan de hand van zojuist gegeven uitleg. Ook kan de docent leerlingen polsen door gericht vragen te stellen. Een nadeel van deze *feedback* is dat deze altijd gebaseerd is op enkele leerlingen. Dat zijn meestal de assertiefste leerlingen of de leerlingen die bewust de beurt krijgen van de docent.

Bij het gebruik van ConcepTests ligt dat anders, vooral als de respons digitaal wordt geregistreerd. Meerdere keren per les worden *alle* leerlingen gepolst. Na het doen van een ConcepTest is direct duidelijk of de klas meer uitleg nodig heeft, of dat er overgegaan kan worden op een volgend onderwerp. Zo wordt het tempo en niveau van de lessen automatisch aangepast aan het tempo en niveau van de gemiddelde leerling.

Ook voor individuele leerling geeft het maken van ConcepTests nuttige informatie. De uitleg van een docent kan soms verraderlijk eenvoudig lijken. Een leerling kan de indruk hebben een bepaald onderwerp te begrijpen, maar het moet dan nog blijken of die leerling de theorie ook in de praktijk, en zonder docent, goed weet toe te passen. Een leerling die een bepaald onderwerp niet goed beheerst, zal hier bij elke ConcepTest opnieuw mee geconfronteerd worden.

Als de respons van de leerlingen digitaal wordt geregistreerd, dan is het relatief eenvoudig om aan het einde van de les een lijstje uit te draaien met daarop de antwoorden van individuele leerlingen. Een docent kan in één oogopslag zien welke leerlingen extra hulp nodig hebben.

Uitleg van een gelijke

Een bekend probleem met een vakkundig docent (*expert teacher*) is zijn onvermogen om kennis aan te bieden op het niveau van een beginner (*novice*).²¹ Het lesmateriaal dat wordt aangeboden is vaak niet in staat om voldoende rekening te houden met het gezichtspunt van de leerling. Hoewel het materiaal voor de docent samenhangend en logisch is opgebouwd, kan het voor een leerling moeilijk zijn om te begrijpen. Tijdens *peer discussion* krijgen leerlingen uitleg van elkaar. Hierdoor kunnen bepaalde verbanden, welke niet benadrukt worden door de docent omdat deze voor hem vanzelfsprekend zijn, juist door leerlingen worden ingebracht. Leerlingen blijken heel goed in staat om elkaar uitleg aan te bieden binnen *Vygotsky's Zone of Proximal Development* en kunnen dat soms beter dan dat de docent dat kan.

Uitleg op maat

Uitleg van een gelijke (zoals hierboven beschreven) is een vorm van uitleg op maat die vooral gaat over *hoe* leerlingen iets uitgelegd krijgen. Daarnaast zit een voordeel van *peer discussion* ook in *wat* leerlingen uitgelegd krijgen.

Als een groep leerlingen een klassikale uitleg probeert te begrijpen, dan zullen de leerlingen tegen veel verschillende problemen aanlopen. Als docent probeer je al deze individuele problemen zo veel mogelijk te ondervangen. Vaak zal uitleg bestemd voor de ene leerling bij de andere leerling weer (nieuwe) vragen oproepen. Dit maakt het welhaast onmogelijk om bij klassikale uitleg alle leerlingen tegelijkertijd goed te helpen.

Tijdens *peer discussion* krijgt iedere leerling individueel hulp met zijn probleem door hoor en wederhoor. Een leerling krijgt antwoord op de specifieke vraag waar hij of zij mee zit. Tijdens de discussie die daarop volgt krijgt de leerling ook antwoord op de vervolgvragen die vloeien uit de uitleg.

Overigens blijkt ook het geven van uitleg aan anderen een hele effectieve manier om meer inzicht te krijgen.

Activerende lesvorm

Het blijkt dat activerende lesvormen hogere leeropbrengsten opleveren.⁷ Peer Instruction wordt in dit verband specifiek genoemd als activerende lesvorm. Dit is niet verwonderlijk als je de verschillende lesonderdelen bekijkt. Tijdens het individueel stemmen wordt iedere leerling afzonderlijk gevraagd te reageren. Hoewel het stemmen anoniem is (of misschien wel omdat het anoniem is) voelen alle leerlingen zich aangesproken. Ze willen allemaal het goede antwoord bedenken.

Ook de fase waarin *peer discussion* plaatsvindt is heel activerend. Dit in tegenstelling tot klassikale uitleg. Tijdens klassikale uitleg van een docent willen leerlingen nog wel eens in gedachte afdwalen. Op het moment dat zij in discussie zijn met, of uitleg krijgen van mede-leerlingen kan dat niet. Hun aandacht is volledig bij de les.

Het inleiden en nabespreken van ConcepTests zijn de enige onderdelen die minder activerend zijn. Gelukkig blijken de leerlingen ook hier de aandacht goed bij te kunnen houden. Zij zijn erg benieuwd naar het goede antwoord en willen graag weten of ze zelf en hoeveel anderen het antwoord goed hadden.

2.4 De les laten voorbereiden

Van de docenten die Peer Instruction gebruiken geeft 71% aan dat ze van hun leerlingen verwachten dat zij zich inlezen voor de les.² Het voordeel daarvan is dat, als

2 Peer Instruction

deze leerlingen de les goed zouden voorbereiden, dan de tijd in het college-uur veel effectiever besteed kan worden. Er hoeft dan immers geen tijd meer te worden besteed aan het introduceren van definities en vergelijkingen die leerlingen makkelijk uit het tekstboek kunnen halen. Zonder een vorm van controle op de voorbereiding is het echter onwaarschijnlijk dat de meeste leerlingen daadwerkelijk de les voorbereiden. In tabel 2 staat een overzicht over hoe de controle op die voorbereiding nu meestal plaatsvindt.

Tabel 2: Manieren van controle op leesopdrachten, gegeven aan leerlingen als voorbereiding op de les. Gebaseerd op antwoorden van 274 docenten die Peer Instruction gebruiken in de les en die laten voorbereiden.⁵

controle vorm	percentage
multiple-choice quiz	52%
open vragen quiz	17%
samenvatting	8%
overig	17%
geen controle	25%

29% van de docenten geeft helemaal geen voorbereidende opdrachten op en van de docenten die dat wel doen voert een kwart van deze docenten geen enkele vorm van controle uit. Hieruit kun je afleiden dat bijna de helft van de docenten het maken van voorbereidende opdrachten niet essentieel acht voor Peer Instruction. M.a.w. de voorbereidende opdrachten zijn, hoewel nuttig, niet strikt noodzakelijk voor Peer Instruction.^{2,5,6}

De verschillende manieren van controle zoals aangegeven in tabel 2 blijken (in ieder geval op Harvard) niet allemaal even effectief.¹⁸ De quizzen bleken een goede aansporing tot het lezen van theorie, maar zorgden er niet voor dat leerlingen er goed over gingen nadenken. De leerlingen een korte samenvatting laten schrijven over de theorie leverde geen effectieve samenvatting op. De beste manier om leerlingen aan te sporen bleek een variant op de *warmups* uit de Just-In-Time Teaching (vaak afgekort als JiTT).²⁰

JiTT is een methode bedoeld om leerlingen te activeren door *feedback* te gebruiken van voorbereidende web-opdrachten die vlak voor het begin van de les ingeleverd moeten worden. De docent kan de les (*just-in-time*) aanpassen aan de vragen en de problemen van de leerlingen.

3 Opzet lessenserie

Als onderwerp voor deze lessenserie is gekozen voor mechanica. Hiervoor zijn verschillende redenen:

- Er in de wetenschap relatief veel onderzoek is gedaan naar de misconcepties bij leerlingen wat betreft mechanica. Dit vergemakkelijkt het ontwikkelen van ConcepTests.
- De beschikbaarheid van met name de FCI (zie paragraaf 4.1) maakt het relatief eenvoudig om de opbrengst van de lessenserie te meten en internationaal te vergelijken.
- Leerlingen sluiten in vwo 5 het onderwerp mechanica af. Hierdoor is het mogelijk om ieder willekeurig onderdeel uit het eindexamenprogramma mee te nemen in het onderzoek (ook onderdelen die leerlingen in vwo 4 hebben gehad). Daarnaast maakt dit dat de post-test een eindscore is, die voor internationale vergelijking gebruikt kan worden.

De volgende subdomeinen komen aan de orde (als bepaald door de CEVO):

- C1: Rechthoekige beweging
- C2: kracht en moment
- C3: Arbeid en energie
- C4: Kromlijnige beweging

De subdomeinen C1 en C2 zijn voorkennis. C3 en C4 zijn nieuw te behandelen subdomeinen.

In totaal zijn er 9 college-uren van 60 minuten gebruikt, verspreid over 11 weken. De leerlingen hadden daarnaast ongeveer evenveel begeleidingsuren van 60 minuten, waarin ze zelfstandig kunnen werken. Het precieze aantal begeleidingsuren verschilt per leerling omdat iedere leerling een eigen rooster heeft. De college-uren zijn wel voor alle leerlingen op hetzelfde moment ingeroosterd.

Het eerste college-uur (les 0) is volledig gebruikt om de leerlingen uit te leggen wat er ging gebeuren en waarom. Tevens was er in die les ruimte voor een eerste oefening met de stemkastjes en oefening met de procedure bij lessen met Peer Instruction.

Les 1 en 2 gingen over het subdomein "C3: Arbeid en energie". Dit onderwerp zit niet in de FCI en heeft dus geen invloed op de berekende opbrengst van de lessenserie. Dit hoofdstuk is vooral bedoeld om de leerlingen vertrouwt te laten raken met de methode voordat het echte onderzoek begint. Ook zijn deze lessen nuttig geweest voor de docent om te wennen aan de methode en om de lessen goed te leren afstemmen op de leerlingen. Dit onderwerp werd tussentijds afgesloten met een toets.

3 Opzet lessenserie

Het eigenlijke onderzoek vindt plaats in les 3 t/m 8. De totale stof gaat over alle subdomeinen met uitzondering van het onderdeel "momenten". Een groot gedeelte van de lessen wordt gebruikt voor het subdomein "C4: Kromlijnige beweging", omdat dit nieuwe stof is.

Er is een strikte scheiding gemaakt tussen het leren begrijpen van de concepten in de college-uren en het oefenen van de opgaven in de begeleidingsuren. Leerlingen is verteld dat het boek tijdens de college-uren thuis mag blijven. Het idee daarachter is dat als de leerlingen de natuurkundige concepten begrijpen, dat ze dan gemakkelijker zelfstandig het boek kunnen doornemen tijdens de begeleidingsuren. Tijdens de begeleidingsuren is er altijd een vakdocent aanwezig voor extra hulp, maar vindt er geen klassikale uitleg plaats. Een gedetailleerd overzicht van de behandelde onderwerpen per les is te vinden in tabel 3. In appendix F zijn de gebruikte ConcepTests per les te vinden met daarbij de antwoordverdelingen van de leerlingen.

De college-uren worden geheel gevuld zoals beschreven in paragraaf 2.1. Dat betekent dat de hele les gevuld is met korte uitleg afgewisseld met stemmen en *peer discussion*. Het enige verschil is dat, wegens een gebrek aan genoeg ConcepTests, er geen sturing plaats kan vinden op kernonderwerp. Dit betekent dat alle beschikbare ConcepTests (ongeveer 10 per les) worden gebruikt in die les. Er worden geen ConcepTests overgeslagen want dan blijft er tijd over. Er kan ook niet langer stil worden gestaan bij een bepaald onderwerp omdat er niet meer geschikte ConcepTests voorradig zijn (zie ook hoofdstuk 9).

De uitleg vooraf aan een nieuwe ConcepTest moet zo min mogelijk tijd in beslag nemen. De kracht van Peer Instruction is juist dat *peer discussion* vaak beter werkt dan klassikale uitleg. De uitleg moet er voor zorgen dat er voor aanvang van de *peer discussion* genoeg leerlingen in de klas zijn die het concept begrijpen. Ook kan de uitleg vooraf bestaan de kennis activeren en de leerlingen handvatten geven om elkaar de concepten te kunnen uitleggen.

De *peer discussion* duurt ongeveer 2 tot 4 minuten. De docent bepaalt wanneer de discussie is afgelopen. Tijdens de *peer discussion* worden de stemkastjes geactiveerd zodat de leerlingen opnieuw kunnen stemmen. Het aantal leerlingen dat gestemd heeft geeft een goede indicatie over hoe ver de leerlingen zijn met de *peer discussion*.

De leerlingen zijn volledig vrij in het kiezen van de discussie partners. Ook het aantal leerlingen dat discussieert staat vrij, maar een aantal van 2 tot 4 lijkt ideaal. Ook mogen leerlingen tijdens een discussie wisselen van groepje. De docent zal leerlingen zelfs aanmoedigen om leerlingen op te zoeken die een ander antwoord voor ogen hebben.

Tabel 3: Lesindeling. De lesnummers corresponderen met de lesnummers die vermeld staan bij de ConcepTests in de bijlage.

Zelfstudie uit het boek	Concepten tijdens het college-uur
Les 1: nieuwe theorie	
• energievormen (§8.1)	• bewegingsenergie naar zwaarte-energie en vice versa • veerenergie naar zwaarte-energie
Les 2: nieuwe theorie	
• arbeid (§8.2) • schuine krachten (§8.3) • veerkracht en veerenergie (§8.3) • weerstandskrachten (§8.4)	arbeid, met: • kracht en verplaatsing in dezelfde richting • kracht en verplaatsing loodrecht op elkaar • kracht en verplaatsing gedeeltelijk in dezelfde richting
Les 3: herhaling vwo 4 en voorkennis les 4	
• eenparige beweging (§2.1) • eenparig versnelde beweging (§2.3)	• snelheid uit plaats-tijd grafiek • versnelling uit snelheid-tijd grafiek • verplaatsing uit snelheid-tijd grafiek • relatie versnelling en snelheid • snelheid en versnelling tijdens een worp • snelheid en versnelling tijdens vrije val • valversnelling voor verschillende massa's
Les 4: nieuwe theorie	
• horizontale worp (§11.1)	• relatie kracht en versnelling • geen netto kracht nodig voor snelheid • valversnelling voor verschillende massa's • superpositie beweging in 2 richtingen
Les 5: nieuwe theorie	
• cirkelbeweging (§11.2)	• geen netto kracht nodig voor snelheid • kracht nodig voor richtingsverandering • hoeksnelheid
Les 6: herhaling vwo 4 en voorkennis les 7	
• wetten van Newton (§6.1-6.5)	• geen netto kracht nodig voor snelheid • kracht nodig voor richtingsverandering • middelpuntzoekende kracht • derde wet van Newton • gravitatiekracht
Les 7: nieuwe theorie	
• looping (§11.3) • gravitatiekracht (§11.3)	• bewegingsenergie naar zwaarte-energie en vice versa • middelpuntzoekende kracht
Les 8: herhaling les 1 t/m 7	

3 Opzet lessenserie

Er is voor gekozen om geen voorbereidende opdrachten op te geven. Dit omdat de ervaring is dat bij een groot gedeelte van deze leerlingen daar niets van terecht zou komen. In dit geval zou het opgeven van voorbereidende opdrachten de verschillen tussen leerlingen wat betreft voorkennis alleen maar vergroten.

Om de leerlingen te motiveren actief mee te doen met de lessen zou je er nog voor kunnen kiezen om leerlingen te belonen voor het geven van de goede antwoorden op de ConcepTests in de les. Dit zou dan bijvoorbeeld bonuspunten op het proefwerk kunnen opleveren. Onderzoek heeft echter uitgewezen dat bij dit soort beloning de betere leerling dominant wordt en de minder goede leerling passief.¹⁵ Het blijkt dat lessen zonder beloning een beter beeld geven van hoe de leerlingen ervoor staan. Er is voor gekozen om leerlingen niet direct te belonen voor goede antwoorden in de les. Wel is de leerlingen voor aanvang van de lessenserie toegezegd dat een groot gedeelte van het cijfer op het proefwerk bepaald zou worden aan de hand van puur conceptuele vragen die lijken op de ConcepTests uit de les.

4 Conceptueel begrip

4.1 Force Concept Inventory

De *Force Concept Inventory*¹³ (vanaf nu afgekort met FCI) is een standaard test om het conceptueel begrip van de newtoniaanse mechanica te testen bij leerlingen. De vragen zijn erop gericht om leerlingen te laten kiezen tussen een antwoord gebaseerd op een newtoniaans concept en alternatieven gebaseerd op “gezond verstand”. Deze alternatieven leggen vaak de misconcepties bloot die bij de leerlingen aanwezig zijn.¹³

De vragen zijn zo ontworpen dat ook leerlingen die nog geen mechanica-lessen hebben gehad in staat zijn de vragen te begrijpen.¹² Hierdoor is het mogelijk om d.m.v. een pre- en een post-test het effect van een lessenserie op het conceptueel begrip te evalueren. Het effect wordt uitgedrukt in Hake’s *average normalized gain* $\langle g \rangle$:⁷

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_{post} \rangle - \langle S_{pre} \rangle}{100\% - \langle S_{pre} \rangle} \quad (1)$$

waarbij $\langle S_{pre} \rangle$ en $\langle S_{post} \rangle$ de gemiddelde scores zijn van de FCI respectievelijk voor en na de lessenserie.

Er zijn ook critici die de reikwijdte van de inzetbaarheid van de FCI in twijfel trekken.^{11,14} Zij twijfelen eraan of de test daadwerkelijk het begrip van het concept kracht (*Force Concept*) meet. Zij vermoeden dat de test ook de familiariteit van de leerling met de gegeven context meet in plaats van enkel het begrip van het concept. Zij zijn van mening dat de FCI niet gebruikt mag worden om conclusies te trekken over individuele leerlingen. Desalniettemin, zijn ook zij het erover eens dat de FCI een betrouwbare en nuttige test is, die geschikt is om het effect van een lessenserie te evalueren.^{7,14}

Een Nederlandse vertaling van de gereviseerde versie van de FCI⁸ zal aan het begin en aan het einde van de lessenserie worden afgenomen. Om de geldigheid van de test te waarborgen zal bij het ontwikkelen van de ConcepTests voor de lessenserie geen gebruik worden gemaakt van materiaal uit de FCI. Ook zal de FCI na de pre-toets niet besproken worden met de leerlingen. De leerlingen krijgen slechts hun score en de gemiddelde score van de klas. De vertaling van de FCI is te vinden in appendix B.

Opmerkingen bij de FCI

Bij opgave 26 is een ander antwoord als juist bestempeld (antwoord D), dan het officiële antwoord (antwoord E). De opgave is ambigu en het is betwistbaar welk antwoord het beste is. In het Nederlandse onderwijs wordt van de leerlingen verwacht dat ze dit "foute" antwoord geven.¹

De opgave gaat over een vrouw die tegen een grote doos duwt. De kracht waarmee zij duwt is groter dan de totale weerstandskracht. Er wordt gevraagd wat er met de snelheid gaat gebeuren. Het officiële antwoord is dat deze voortdurend zal blijven toenemen. Echter wordt in het Nederlandse onderwijs van leerlingen verwacht dat deze kan inschatten wanneer de luchtwrijving een rol gaat spelen. Bovendien wordt in een groot aantal vragen op de FCI (5, 6, 8 t/m 11 en 13) de luchtweerstand expliciet verwaarloosd. Om consistent te blijven had dat bij deze opgave ook moeten gebeuren.

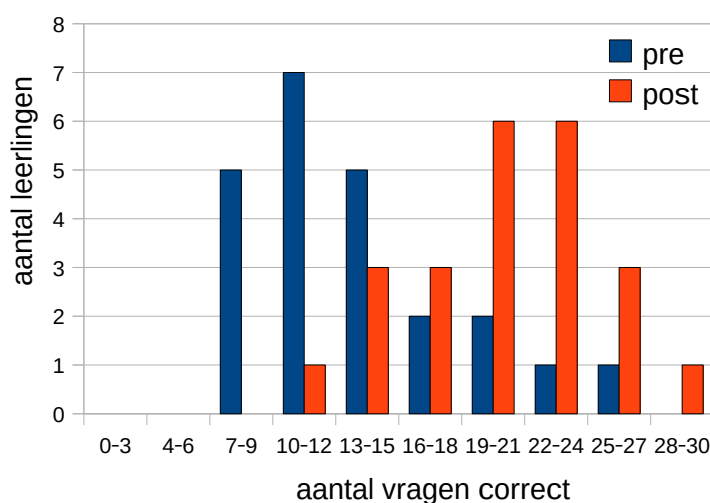
Bij opgave 29 is het officiële antwoord goedgekeurd, terwijl deze feitelijk niet juist is. Volgens het officiële antwoord wordt er op een bureaustoel geen netto neerwaartse kracht uitgeoefend door de lucht. Deze is er wel degelijk, maar is zo klein, dat het leerlingen niet kwalijk kan worden genomen als ze die weglaten.

4.2 Resultaten FCI

De gebruikte versie van de FCI is te vinden in appendix B. De antwoorden per leerling op de pre- en post-test zijn te vinden in respectievelijk tabel 9 en tabel 10 in appendix A. In appendix C zijn de antwoordverdeling per opgave te vinden voor zowel de pre- als de post-test. Hierbij zijn bij de pre-test de leerlingen weggelaten die de post-test niet gemaakt hebben. Alle leerlingen die de post-test gemaakt hebben, hebben ook de pre-test gemaakt.

In figuur 3 staan de verdelingen van de FCI pre- en post-test. De opbrengst van de lessenserie is hier duidelijk te zien. De gemiddelde score gaat van 45% naar 68% ($N=23$). Het percentage leerlingen dat de drempel van 60% haalt, wat door Hestenes is aangegeven als de grens voor het begrijpen van de newtoniaanse mechanica,¹³ stijgt van 22% naar 74%. Hake's *average normalized gain* komt uit op $\langle g \rangle = 0.42$. Dit is ruim binnen het medium- g bereik, wat door Hake is gedefinieerd als zijnde tussen $\langle g \rangle = 0.3$ tot 0.7 .⁷ Deze opbrengst is in overeenstemming met wat je zou verwachten naar aanleiding van een onderzoek gedaan door Hake naar de opbrengst van lessenseries.

¹Zie *Pulsar natuurkunde, tweede fase, vwo deel 1*, bron 11 op blz. 175



Figuur 3: Resultaten van de FCI pre- en post-test.

In zijn onderzoek⁷ maakt Hake onderscheid tussen lessenseries met *interactive engagement* (waar Peer Instruction onder valt) en lessenseries zonder *interactive engagement*. Hierbij definieert hij een lessenserie met *interactive engagement* als op zijn minst gedeeltelijk ontworpen om conceptueel begrip te stimuleren, door interactieve betrokkenheid van studenten door middel van direct confronterende en vaak ook actieve participatie eisende activiteiten, die onmiddellijke *feedback* geven door middel van discussie met andere leerlingen en/of de docent. Hierbij constateert hij dat lessenseries zonder *interactive engagement* een *average normalized gain* hebben van $\langle g \rangle = 0.23 \pm 0.04$ (gebaseerd op 14 lessenseries, N=2084). Lessenseries met *interactive engagement* hebben een *average normalized gain* van $\langle g \rangle = 0.48 \pm 0.14$ (gebaseerd op 48 lessenseries, N=4458).

Lessenseries zonder *interactive engagement* zitten zonder uitzondering in het lage- g bereik. Lessenseries met *interactive engagement* zitten voor 85% in het medium- g bereik. Geen enkele lessenserie zat in het hoge- g bereik. Dit komt overeen met een onderzoek van Fagen,^{5,6} waarin hij concludeert dat 90% van de Peer Instruction lessenseries (lessenseries op Harvard zijn expres niet meegenomen in dit onderzoek) in het medium- g bereik zitten en de rest in het lage- g bereik. Hij vindt een *average normalized gain* van $\langle g \rangle = 0.39 \pm 0.09$ (gebaseerd op 30 lessenseries).

Indruk van de leerlingen

Naast de meetbare toename van het conceptueel begrip is het misschien wel even belangrijk hoe de leerlingen hun eigen begrip ervaren. Willen leerlingen bewuster gaan studeren en meer aandacht hebben voor de onderliggende natuurkundige concepten is het belangrijk dat leerlingen ook het gevoel hebben dat de lessen met Peer

4 Conceptueel begrip

Instruction bijdragen aan hun begrip. Om dit te onderzoeken zijn de leerlingen aan het einde van de lessenserie ondervraagd middels een enquête (zie hoofdstuk 6). Op deze enquête gaf 83% van de leerlingen aan dat ze dankzij deze lessen de stof beter begrijpen.

Averechts effect

De meeste opgaven laten een verbetering zien in de score of blijven op zijn minst ongeveer gelijk. De enige uitzondering hierop zijn opgave 8 en 9. Beide opgaven hadden een pre-test score van 61%. Deze scores zijn teruggevallen naar respectievelijk 35% en 26%. Een verklaring is hiervoor niet gevonden. De conclusie die hieruit getrokken moet worden is dat de misconcepties uit deze opgaven in een volgende lessenserie extra aandacht behoeven.

Misconceptie: beweegkracht

Één van de meest hardnekkige pre-concepties bij leerlingen is die van de beweegkracht.⁹ In de perceptie van veel leerlingen is deze kracht ervoor verantwoordelijk dat een bal door de lucht blijft bewegen nadat deze is losgelaten. In tabel 4 staat een overzicht van de vragen uit de FCI, waarbij deze beweegkracht is opgenomen in de foute antwoorden.

Tabel 4: Het percentage juiste antwoorden op vragen uit de FCI pre- en post-test, waarbij de beweegkracht een rol speelt.

opgave	pre-test	post-test
5	4%	70%
11	13%	61%
12	43%	74%
13	13%	48%
17	48%	78%
18	9%	61%
30	13%	74%

De gemiddelde score van 20.4% voor deze vragen op de pre-test maakt duidelijk dat deze misconceptie sterk aanwezig was voor aanvang van de lessenserie. Een gemiddelde score van 66.6% op de post-test geeft een *average normalized gain* van $\langle g \rangle = 0.58$. Dit laat zien dat m.b.v. Peer Instruction deze hardnekkige misconceptie krachtig is bestreden.

5 Kwantitatief vragen oplossen

5.1 Eindtoets

De toets aan het einde van de lessenserie was erop gericht te kijken of de leerlingen nog steeds in staat zijn om de kwantitatief op te lossen vragen te maken. Bij al deze vragen moet er iets berekend worden. Dat wil niet zeggen dat er geen conceptueel begrip bij komt kijken, maar deze vragen kunnen soms opgelost worden door louter de gegevens uit de opgave in te vullen in de bekende formules. De meeste toetsen die bij methodes geleverd worden en ook de eindexamens bestaan voor het grootste gedeelte uit dit soort vragen. Het is daarom belangrijk dat leerlingen ook bij Peer Instruction leren om dit soort opgaven te maken.

De toets is opgebouwd uit een verzameling berekenvragen, die afkomstig zijn van de standaardtoetsen bij de gebruikte methode. Op deze toets worden achtereenvolgens de volgende onderwerpen getoetst:

- hoeksnelheid
- middelpuntzoekende kracht
- horizontale worp
- eenparig versnelde beweging en netto kracht
- middelpuntzoekende kracht en ontbinding van vectoren

Daarnaast bestond de eindtoets uit een aantal ConcepTests, afkomstig uit de lessenserie. Deze zijn bewust in de toets opgenomen. Als de lessen gericht zijn op conceptueel begrip, dan moet dat terug te vinden zijn in de toets.

5.2 Resultaten

Op de test is gemiddeld 37.7% van de punten gescoord op de berekenvragen. Dit zou normaliter hebben geleid tot een 4.4 als gemiddelde cijfer. Deze score ligt ruim onder de gewenste score van 55%. De uiteindelijke cijfers zijn voor de leerlingen hoger uitgekomen omdat er goed is gescoord op de begripsvragen. De scores op de bereken- en begripsvragen zijn te vinden in tabel 8 in bijlage A. Deze scores op de begripsvragen blijken een hoge correlatie te hebben met de scores op de post-test van de FCI ($r = 0.74$, $p < 0.001$). Dat geeft aan dat het gebruik van die ConcepTests op de toets een aardig beeld geeft van het conceptueel begrip van de leerlingen.

Om inzicht te krijgen in de reden waarom de leerlingen zo mager scoren op de berekenvragen is een drietal leerlingen geïnterviewd. Deze leerlingen zijn uitgekozen op grond van hun resultaten. Ze hadden alle drie een hoge score op de post-test van de FCI, maar een lage score op de berekenvragen. De leerlingen zijn afzonderlijk geïnterviewd. De interviews duurde tussen de 15 en 25 minuten. Hieronder staat een beknopte samenvatting van ieder gesprek.

5 Kwantitatief vragen oplossen

Leerling 4 heeft de meeste opgaven uit het boek niet gemaakt omdat hij dacht dat hij het wel begreep. Er hoeft wat hem betreft niets te veranderen aan de les. Als hij beter had gewerkt, dan had hij het gemakkelijk gekund.

Leerling 10 had wel het gevoel dat hij de theorie begreep, maar hij vindt de berekenvragen veel moeilijker dan de begripsvragen en had daar meer hulp bij willen hebben. Hij heeft wel goed zijn best gedaan.

Leerling 12 wijt het resultaat aan laksheid van zichzelf en onderschatting van het proefwerk. Hij had verwacht dat het berekengedeelte minder slecht zou gaan. Een middeling met het begripsgedeelte zou dan een goed cijfer opleveren. Hij zou wel graag meer aandacht willen hebben voor de berekenvragen in de les.

Deze leerlingen hadden alle drie het gevoel dat ze de theorie begrepen. De opmerking dat ze graag zouden zien dat er ook berekenvragen in de les behandeld zouden worden is iets wat veelvuldig terugkomt in de evaluatie (zie paragraaf 6.2). Daar zit het grootste verbeterpunt van de lessenserie. De complete scheiding van het opdoen van conceptueel begrip in het college-uur om vervolgens compleet zelfstandig te oefenen met de berekenvragen in de begeleidingsuren blijkt te veel gevraagd van deze leerlingen.

Over de verantwoordelijkheid bij het leerproces zegt Eric Mazur het volgende:¹⁹

De verantwoordelijkheid voor het verzamelen van informatie ligt nu volledig bij de leerlingen. Ze moeten materiaal lezen voor ze naar de klas komen, zodat de klasse-tijd gebruikt kan worden voor discussie, peer interaction, assimilatie en nadenken. In plaats van lesgeven door te vertellen wordt er lesgegeven door vragen te stellen.

Hierbij moet opgemerkt worden dat Peer Instruction oorspronkelijk is ontwikkeld voor leerlingen die iets ouder zijn en in het eerste jaar van Harvard zitten. Voor toepassing van Peer Instruction in het voortgezet onderwijs zal waarschijnlijk een schoolse begeleiding nodig zijn (zie ook de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 9).

6 Draagvlak onder leerlingen

6.1 Attitude

Voldoende draagvlak onder leerlingen is essentieel voor het succes van een lesmethode. Als de attitude jegens Peer Instruction overwegend negatief is, dan is deze methode sowieso geen alternatief voor de normale lessen. Als de attitude daarentegen overwegend positief is, dan zou dat een reden kunnen zijn om de methode te gaan gebruiken, zelfs als de resultaten van de leerlingen niet zouden verbeteren.

De vaststelling van de attitude is gebaseerd op observaties tijdens en buiten de lessen en wordt ondersteund door een enquête die is gehouden onder de leerlingen. De enquête, zoals de leerlingen deze hebben gekregen, is te vinden in appendix D. In de enquête wordt de term Peer Instruction expres niet gebruikt omdat leerlingen naar deze lessen refereren als “de lessen met de stemkastjes”. Deze enquête is afgenomen na afloop van de lessenserie en nadat de leerlingen hun cijfers hebben teruggekregen. Naast het vaststellen van de attitude heeft de enquête ook als doel om uit te vinden wat er volgens de leerlingen nog kan worden verbeterd aan de lessenserie. De resultaten daarvan zijn meegenomen in de conclusies en aanbevelingen. De antwoorden per leerling staan in tabel 12 in appendix E. Een overzicht van alle vragen met het antwoord van de klas als geheel is te vinden in tabel 11.

Bij het beoordelen van de attitude is onderscheid gemaakt tussen wat leerlingen vinden van de lessenserie en hoe ze zich gedragen in de les. De algemene indruk van wat leerlingen vinden is erg positief. Leerlingen praten op een positieve manier over de lessen. Ook zijn er leerlingen die nadenken over de lessen en de invloed op hun eigen leerproces. Zij komen dit vervolgens uit eigen beweging bespreken. Deze positieve attitude blijkt ook uit de enquête, waarin 92% van de leerlingen aangeeft dat ze deze lessen leuker vinden dan de normale lessen (vraag L). Geen enkele leerling vindt de lessen minder leuk dan de normale lessen. 88% van de leerlingen geeft aan dat de stemkastjes ook gebruikt zouden moeten worden voor andere onderwerpen (vraag M). Dit blijkt ook uit de aanhoudende vraag om weer met de stemkastjes aan de gang te gaan nadat het onderzoek was afgelopen.

Het gedrag dat leerlingen tonen in de les is erg positief. Leerlingen deden tot aan de laatste les enthousiast mee. Ze wekken de indruk dat het hen veel minder moeite kost om de volle 60 minuten de aandacht erbij te houden. Dit komt overeen met de antwoorden op de enquête. Van de leerlingen gaf 58% aan dat ze de aandacht gemakkelijker bij de les kunnen houden bij deze lessen (vraag K). Tevens gaf 79% aan dat ze bij deze lessen meer actief betrokken zijn (vraag C).

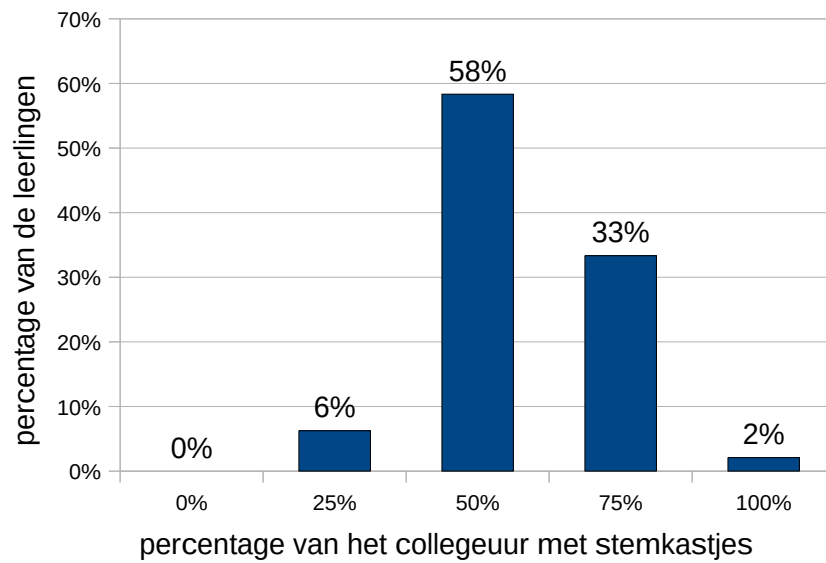
Deze positieve attitude komen overeen met de bevindingen van Eric Mazur (zie paragraaf 1.2). In een onderzoek onder 384 docenten, die Peer Instruction gaven buiten Harvard, gaf 70% aan positievere evaluaties te hebben gekregen na het gebruik van Peer Instruction.

6.2 Overige resultaten leerling enquête

De leerlingen blijken de lessen leuk te vinden. Tegelijkertijd neemt hun conceptueel begrip behoorlijk toe tijdens de lessenserie (zie paragraaf 4.2). De vraag is nu of de leerlingen ook het gevoel hebben dat de lessen nuttig zijn. Op de enquête geeft 83% van de leerlingen aan dat ze de stof beter begrijpen in vergelijking met de normale lessen (vraag A). 58% van de leerlingen geeft aan te leren van de *peer discussion* momenten (vraag H). Alle leerlingen vinden het belangrijk dat de ConcepTests worden afgesloten door uitleg van de docent (vraag I). De meeste leerlingen zien dus de toegevoegde waarde van Peer Instruction in. Zij vinden dat deze methode ook voor andere onderwerpen dan mechanica gebruikt zouden moeten worden (88%, vraag M).

Op de enquête zijn ook open vragen gesteld. Daar kwam weinig opzienbarend uit naar voren, behalve èèn opmerking, die door bijna iedere leerling werd gemaakt. De leerlingen zouden graag zien dat er tijdens de college-uren, die nu geheel gevuld waren met Peer Instruction, ook aandacht wordt besteed aan het kwantitatief vragen oplossen. Zij gebruikte termen als “meer berekenvragen”, “ook normale uitleg” of “uitleg uit het boek”. Navraag leerde dat de leerlingen hiermee bedoelde dat zij het geleerde al tijdens de college-uren zouden willen toepassen op sommen uit het boek.

Er is ook gevraagd of de leerlingen een bepaalde verhouding tussen Peer Instruction en de “normale” lessen voor ogen hadden. De resultaten daarvan zijn te vinden in figuur 4. Geen enkele leerling kiest voor “geen Peer Instruction”. Een ruime meerderheid kiest voor de helft Peer Instruction, en een derde kiest voor 75% Peer Instruction. Een gewogen gemiddelde levert een percentage van 58% Peer Instruction. Dat zou betekenen dat volgens de leerlingen de les idealiter verdeeld zou moeten worden in 35 minuten Peer Instruction en 25 minuten toepassen op sommen uit het boek.



Figuur 4: Voorkeur van leerlingen voor het gebruik van stemkastjes in de college-uren. Als voorbeeld: 33% van de leerlingen wil graag dat 75% van de college-lessen besteed wordt aan Peer Instruction en 25% aan "normale" les.

7 Praktische uitvoerbaarheid

7.1 Gebruikte hard- en software

Bij deze lesseserie is er sprake van een grote IT-component. Het goed functioneren van zowel de hardware als de software is een voorwaarde voor de werkbaarheid. Hierbij zijn twee dingen van belang. Ten eerste moet zowel de hardware als de software betrouwbaar zijn en eventuele uitval moet eenvoudig op te vangen zijn. Ten tweede moet de *overhead* beperkt zijn. Het mag niet zo zijn dat het opzetten van de hardware en het aansturen van de software veel van de lestijd in beslag neemt.

Hardware component

De basisbenodigdheden bestaan uit:

- een computer met *dualhead*-videokaart
- een beamer
- voor ieder leerling een stemkastjes (plus reserves)
- een ontvanger

Voor deze lessenserie is gebruik gemaakt van de stemkastjes van het merk SMART (zie figuur 5). Een ontvanger met een USB aansluiting zorgt voor de draadloze communicatie met de stemkastjes.

De *dualhead*-videokaart zorgt ervoor dat op het computerscherm en op de beamer verschillende beelden te zien zijn. Dit is nodig omdat de docent moet weten hoe de leerlingen gestemd hebben terwijl de leerlingen dat op dat moment nog niet mogen weten. De software van de stemkastjes is dan te zien op het computerscherm en de ConcepTests zijn op de beamer te zien.



Figuur 5: stemkastje

Tijdens dit onderzoek is er gebruik gemaakt van een extra laptop om de stemkastjes-software op te laten draaien. Dit is gedaan omdat de aanwezige IT-omgeving niet betrouwbaar bleek. Normaliter zou dat met deze hardware en software niet nodig moeten zijn.

De ontvanger van SMART werkt prima en de ontvangst is in het hele lokaal goed. De stemkastjes werken op batterijen. Indien een batterij te slecht is geworden, dan wordt dat zowel aan de docent als aan de leerling doorgegeven. Een leerling kan zelfstandig het stemkastje omruilen voor een stemkastje met een volle batterij. Binnen een minuut kan de leerling de les hervatten alsof er niets gebeurd is. De docent hoeft daarbij helemaal geen actie te ondernemen. Om de batterijen te sparen gaan de stemkastjes vanzelf uit nadat de les is afgesloten door de docent.

Software component

Voor gebruik van de stemkastjes zijn twee programma's noodzakelijk. De SMART Notebook software is het hoofdprogramma voor SMART producten (versie 10 is gebruikt). Daarnaast moet er extra software worden geïnstalleerd voor de stemkastjes. Dit kan zijn SMART Senteo of SMART Response.

De Notebook software is bedoeld om een les op de beamer voor te bereiden en te geven. Standaard worden er ook drivers meegeleverd voor het aansturen van het interactieve SMART Board, maar de software werkt ook als losstaande applicatie.

Een les gemaakt met de Notebook software bestaat uit een presentatie van meerdere sheets. Deze sheets kunnen bijvoorbeeld tekst, filmpjes of applets bevatten. Indien ook de Senteo of Response software is geïnstalleerd, kunnen er ook stemkastjesvragen worden toegevoegd. Deze kunnen tijdens de les worden opgestart vanuit de presentatie.

Tijdens dit onderzoek is gebruik gemaakt van Senteo 1.0. Deze zorgt voor de aansturing van de stemkastjes, het beheer van de klas en zorgt ervoor dat er vanuit de Notebook software Senteo-vragen kunnen worden toegevoegd en opgestart.

Response is de opvolger van Senteo en doet in principe hetzelfde. Response is niet gebruikt bij de lessenserie, maar zal in de toekomst wel gebruikt moeten worden in plaats van de verouderde Senteo software. Daarom wordt hieronder de functionaliteit van de Notebook software in combinatie met Response onder de loep genomen. De voor- en nadelen van Senteo worden niet beschreven.

7.2 Tips voor een werkbare les

De hierboven beschreven hard- en software zijn niet ideaal voor gebruik met Peer Instruction. Hieronder staan een aantal tips om de hard- en software toch te kunnen gebruiken. Deze tips laten zien hoe een aantal tekortkomingen omzeilt kunnen worden.

- **Gebruik een *dualhead*-videokaart**

De enige manier om als docent de gegeven antwoorden te zien zonder dat de leerlingen de antwoorden zien is door gebruik te maken van twee verschillende schermen. Op het computerscherm staat dan de Notebook software. Daar kan de docent de vragen opstarten en zien hoe de leerlingen hebben geantwoord. Op de beamer zijn dan alleen de vragen zichtbaar. Om twee verschillende beelden te maken op één computer is een *dualhead*-videokaart nodig.

- **Gebruik geen vragenlijsten**

In een Notebook bestand kunnen meerdere vragenlijsten gestopt worden. Deze vragenlijsten kunnen meerdere vragen bevatten. Als een vragenlijst is opgestart, dan verschijnen de nummers van alle vragen op de stemkastjes en moeten de leerlingen door de vragen scrollen om de antwoorden te kunnen geven.

Het gebruik van deze vragenlijsten levert twee problemen op. Ten eerste moeten de leerlingen heel veel scrollen. Dit komt omdat de volgorde van de vragen bij Peer Instruction niet vast staat. Bovendien zal het overslaan van enkele vragen voor veel verwarring zorgen. Ten tweede ziet de docent tijdens het uitvoeren van een vragenlijst geen antwoorden van de leerlingen. Deze worden pas bekend gemaakt als de vragenlijst wordt afgesloten. In plaats van het gebruik van een vragenlijst is het beter om alle vragen los in het Notebook bestand te zetten.

- **Maak van alle vragen opinie vragen**

Bij het aanmaken van een meerkeuzevraag moet worden aangegeven wat het juiste antwoord is. Ook is er de mogelijkheid om van iedere vraag een opinie vraag te maken, wat er feitelijk op neerkomt dat er geen juist antwoord is.

Als een vraag is afgesloten dan zal de Notebook software in principe het goede antwoord op de stemkastjes laten zien. Als er nog *peer discussion* moet plaatsvinden, dan is dat niet de bedoeling. De docent kan voorkomen dat dit gebeurt door voor het opstarten van iedere vraag een optie aan te vinken. Dit moet bij elke vraag opnieuw gebeuren en het risico is groot dat dit af en toe wordt vergeten. Het is gemakkelijker om van alle vragen opinie vragen te maken. Als de Notebook software het goede antwoord op een vraag niet weet kan deze hem ook niet verklappen.

- **Laat de leerlingen zich anoniem aanmelden**

Bij het opstarten van de klas kun je kiezen of de leerlingen moeten inloggen (bijvoorbeeld met hun leerlingnummer zoals bij deze lessenserie is gedaan) of dat ze zich anoniem kunnen aanmelden. Het voordeel van op leerlingnummer inloggen is dat je na afloop van de les een overzicht hebt per leerling. Het nadeel hiervan is dat de docent iedere vraag die eventueel gesteld gaat worden moet voorbereiden in het Notebook bestand. De indeling van dat bestand moet dan precies overeenkomen met de vragen die zichtbaar zijn voor de leerlingen. Naast dat dit veel voorbereidingswerk oplevert, zal dit ook tijdens de les extra concentratie eisen van de docent.

Dit alles is te voorkomen door leerlingen anoniem te laten inloggen. Bovendien is het dan mogelijk om iedere les hetzelfde Notebook bestand te gebruiken (zie hieronder). Het anoniem inloggen is dus vooral een manier om tijd te besparen, zowel voor de les als tijdens de les.

- **Gebruik steeds hetzelfde Notebook bestand**

Het is niet per se nodig om alle vragen op te nemen in het Notebook bestand. Leerlingen zien dit Notebook bestand toch niet. Het is ook mogelijk om één Notebook bestand te maken met daarin alle varianten van de mogelijke vragen om dat bestand vervolgens iedere les opnieuw te gebruiken. Dus één vraag met twee meerkeuze-antwoorden, één vraag met drie meerkeuze-antwoorden, één vraag met vier meerkeuze-antwoorden, etc. Door de resultaten tussentijds te wissen is het mogelijk om deze meerkeuzevragen te recyclen.

In appendix G is een script te vinden dat alle stappen laat zien die doorlopen moeten worden om dit Notebook bestand te gebruiken in de les.

- **Houd een administratie op papier bij tijdens de les**

De Notebook software is voor gebruik met Peer Instruction erg onoverzichtelijk. Om toch overzicht te houden is het handig om op papier bij te houden welke vragen al zijn gesteld en wat de antwoordpercentages waren. Dit kost relatief weinig tijd en geeft tevens de mogelijkheid om achteraf de les te analyseren.

Zorg er wel voor dat alle vragen op de beamer zijn genummerd zodat er naar gerefereerd kan worden. Ook kan het handig zijn om het bestand op de beamer vooraf uit te printen zodat de aantekening direct naast de ConceptTests geschreven kunnen worden.

7.3 Conclusie praktische uitvoerbaarheid

De hardware van SMART is prima in orde, maar de software laat te wensen over. De ontwikkelaars van de software hadden een bepaald gebruik voor ogen met als gevolg dat de software onhandig en omslachtig is voor het gebruik met Peer Instruction.

Als er echter slim wordt omgegaan met de software, dan is het geheel wel werkbaar. Er zal wat functionaliteit moeten worden opgeofferd, zoals het per leerling bijhouden van de resultaten. Daarna kan er wel mee gewerkt worden en is de totale tijd die gemoeid is met het geven van Peer Instruction beperkt.

7 Praktische uitvoerbaarheid

De voorbereidingstijd zit dan in het maken van de ConcepTests. Dit kan in een programma naar keuze gedaan worden en hoeft dus niet in de SMART software te gebeuren. Tijdens de les is de procedure wel omslachtiger dan eigenlijk zou moeten, maar voor een doorsnee docent is het wel goed uit te voeren. Indien de docent hier bedreven in raakt, dan zal er tijdens de *peer discussion* momenten tijd vrijkomen om wat rond te wandelen in de klas.

8 Overige bevindingen

8.1 Vergelijking conceptueel begrip met het buitenland

In tabel 5 staan de pre- en post-test scores van het Montessori College Twente (MCT) en twee buitenlandse instellingen. Deze scores zijn op basis van de FCI, waarbij op het MCT de Nederlandse vertaling is gebruikt. Voor alledrie de instellingen geldt dat de pre- en post-test scores zijn gemeten bij de allereerste implementatie van Peer Instruction.

Tabel 5: Vergelijking van FCI scores en de bijbehorende *gain* tussen het Montessori College Twente (N=23, 2009), Harvard University (N=187, 1991) en John Abbott College (N=69, 2005).¹⁶

instelling	pre-test	post-test	$\langle g \rangle$
Harvard University	70.9	85.0	0.49
John Abbott College	42.6	68.6	0.45
Montessori College Twente	44.9	68.1	0.42

De pre- en post-test scores van het John Abbott College (JAC) zijn redelijk vergelijkbaar met de scores van het MCT. Hierbij moet worden aangemerkt dat het JAC een instelling is aan het hoger onderwijs en het daarom eerlijk zou zijn om de post-test scores van het MCT te vergelijken met de pre-test scores van het JAC. In dat licht doet het MCT het heel erg goed.

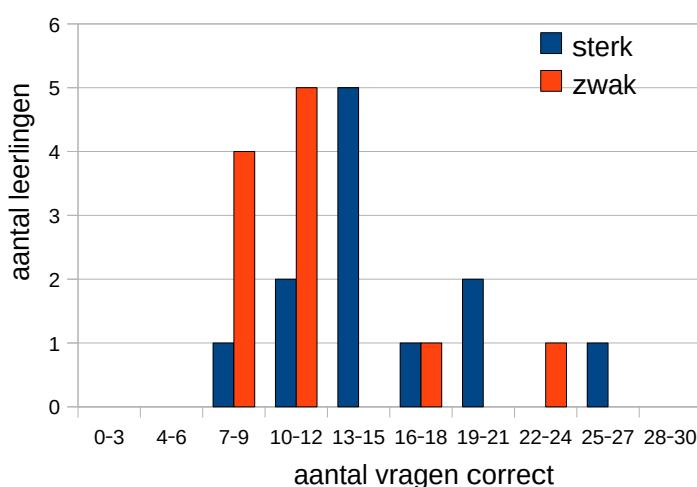
De behaalde *gain* is op het MCT iets lager dan op het JAC, maar we vergelijken hier een lessenserie op het vwo (6 maal èèn uur) met een serie colleges in het hoger onderwijs. De behaalde *gain* valt overigens nog steeds keurig binnen Hake's medium-*g* bereik (zie paragraaf 4.2).

Verder valt op dat de eindscore op het MCT dicht in de buurt zit van de startscore op het prestigieuze Harvard.

Dit mooie resultaat is niet per se een verdienste van het MCT, maar zou best wel eens het gevolg kunnen zijn van een hoger niveau van het nederlandse natuurkunde onderwijs in het algemeen in vergelijking met het natuurkunde onderwijs aan Amerikaanse *highschools*.

8.2 Vergelijking sterke en zwakke leerlingen

Om een vergelijking te maken tussen het effect van Peer Instruction op sterke en zwakke leerlingen zijn de leerlingen verdeeld in twee groepen. Sterke leerlingen zijn leerlingen die een eindcijfer in vwo 4 hadden van boven de mediaan. Zwakke leerlingen hadden een eindcijfer eronder. In figuur 6 is te zien hoe de sterke en zwakke leerlingen hebben gescoord op de FCI pre-test.



Figuur 6: Resultaten van de FCI pre-test uitgesplitst naar sterke en zwakke leerlingen op basis van vwo 4 cijfer.

De zwakke leerlingen ($N=11$) hadden een gemiddelde pre-test score van 38.8 en slechts één leerling haalde de 60% grens. De sterke leerlingen ($N=12$) deden het duidelijk beter met een gemiddelde pre-test score van 50.8 en vier leerlingen die de 60% grens hadden gehaald. Er is een duidelijke correlatie tussen het eindcijfer in vwo 4 en de score op de FCI aan het begin van vwo 5 ($r = 0.51$, $p < 0.01$).

In tabel 6 staan de *gains* voor beide groepen. Ook zijn de *gains* gegeven voor de sterke en zwakke leerlingen waarbij is gescheiden op basis van de score op de FCI pre-test.

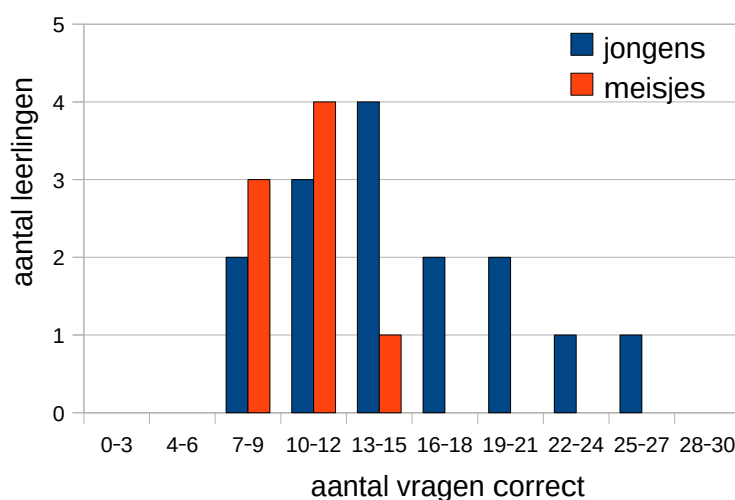
Tabel 6: Vergelijking van *gains* voor sterke en zwakke leerlingen. Tussen haakjes staat of de indeling is gedaan op basis van de FCI of op basis van het eindcijfer van VWO 4.¹⁶

instelling	$\langle g_{sterk} \rangle$	$\langle g_{zwak} \rangle$
John Abbott College (FCI)	0.67	0.39
Montessori College Twente (FCI)	0.41	0.43
Montessori College Twente (vwo4)	0.44	0.40

Voor de leerlingen van het John Abbott College is het overduidelijk dat sterke leerlingen meer winst behalen met Peer Instruction dan de zwakke leerlingen. Overigens is de behaalde *gain* bij de zwakke leerlingen nog altijd meer dan bij traditionele lessen (zie ook paragraaf 4.1). Voor leerlingen van het Montessori College Twente is er geen significant verschil waar te nemen tussen beide groepen. Het maakt hierbij niet uit of de leerlingen worden verdeeld op basis van het vwo 4 eindcijfer of op basis van de score op de FCI pre-test.

8.3 Vergelijking jongens en meisjes: the gender gap

Relatief weinig meisjes blijken te kiezen voor een exact profiel. De meisjes die wel voor exact kiezen scoren vaak lager op tests dan de jongens. Dit fenomeen, dat bekend staat als de *gender gap*, wordt over de hele wereld waargenomen.¹⁷ Ook op het Montessori College Twente (MCT) lijkt dat het geval. In figuur 7 staan de resultaten op de FCI pre-test uitgesplitst naar jongens en meisjes. De gemiddelde score van $\langle S_m \rangle = 35.4$ voor meisjes op de pre-test is beduidend lager dan de gemiddelde score $\langle S_j \rangle = 50.0$ voor jongens.



Figuur 7: Resultaten van de FCI pre-test uitgesplitst naar jongens en meisjes.

Op Harvard heeft men gekeken of het gebruik van Peer Instruction invloed heeft op deze *gender gap*. Dat deed men door in fasen Peer Instruction in te voeren en vervolgens met FCI pre- en post-tests de resultaten van jongens en meisjes te vergelijken. Het lesprogramma op Harvard bestond uit twee keer per week een hoorcollege van anderhalf uur met de hele groep en één maal per week 1 tot 2 uur college in een kleine groep (15 tot 20) van een assistent. In eerste instantie zijn alleen de hoorcolleges vervangen door Peer Instruction. In tabel 7 zijn de resultaten te vinden.

Ook hier is duidelijk te zien dat de pre-test slechter gemaakt wordt door meisjes dan door jongens. De totale *gain* is voor meisjes met $\langle g_m \rangle = 0.50$ kleiner dan voor jongens $\langle g_j \rangle = 0.56$. Ondanks dat gaat het absolute verschil in score tussen jongens en meisjes omlaag van 12.6 naar 7.8 nadat men Peer Instruction is gaan toepassen in de hoorcolleges.

8 Overige bevindingen

Tabel 7: Invloed van Peer Instruction op de *gender gap* voor Harvard University en Montessori College Twente. Te zien is de gemiddelde score op de FCI voor jongens en meisjes ($\langle S_j \rangle$, $\langle S_m \rangle$) op de pre- en post-test. De *gender gap* is gedefinieerd als $\Delta \langle S \rangle = \langle S_j \rangle - \langle S_m \rangle$. Ook zijn de *gains* voor jongens en meisjes afzonderlijk gegeven ($\langle g_j \rangle$, $\langle g_m \rangle$). De Harvard data is verzameld in de jaren 1991, 1993, 1994 en 1995 en bevat resultaten van 432 jongens en 251 meisjes. De Montessori data is verzameld in 2009 en bevat resultaten van 15 jongens en 8 meisjes.

instelling		$\langle S_j \rangle$	$\langle S_m \rangle$	$\Delta \langle S \rangle$	$\langle g_j \rangle$	$\langle g_m \rangle$
Harvard University	pre	73.3	60.7	12.6		
Harvard University	post	88.3	80.5	7.8	0.56	0.50
Montessori College Twente	pre	50.0	35.4	14.6		
Montessori College Twente	post	75.1	55.0	20.1	0.50	0.30

Op het MCT is het verschil tussen jongens en meisjes veel groter. Het absolute verschil van 14.6 wordt verder vergroot doordat de meisjes een veel lagere *gain* $\langle g_m \rangle = 0.30$ hebben dan de jongens $\langle g_j \rangle = 0.50$. Het gebruik van Peer Instruction heeft in deze klas de *gender gap* vergroot. Overigens is de behaalde *gain* bij meisjes van $\langle g_m \rangle = 0.30$ nog altijd groter dan je van traditionele lessen mag verwachten.⁷

Op Harvard heeft men later naast de hoorcolleges ook de colleges in kleine groepen vervangen door een vorm van *interactive engagement* met als gevolg dat de *gender gap* daar helemaal verdween na de lessenserie.

9 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

De voornaamste reden om Peer Instruction toe te gaan passen in de klas is om te proberen de oppervlakkige manier van werken van een groot gedeelte van de leerlingen tegen te gaan. Dit doet Peer Instruction door de leerlingen te verplichten na te denken over de natuurkundige concepten. Dat Peer Instruction hierin is geslaagd blijkt uit het feit dat het natuurkundig begrip aanzienlijk is toegenomen. Een *average normalized gain* van $\langle g \rangle = 0.42$ op de *Force Concept Inventory* is veel hoger dan verwacht mag worden van een lessenserie zonder vorm van *interactive engagement*.

Om een andere manier van werken te bewerkstelligen is het ook nodig dat de leerlingen het nut inzien van de nieuwe manier van werken. Hiervoor is het belangrijk dat de leerlingen het gevoel hebben dat ze de stof beter zijn gaan begrijpen. Op de enquête gaf 83% van de leerlingen aan dat ze dankzij deze methode de stof beter zijn gaan begrijpen dan met normale lessen het geval zou zijn geweest.

Naast het begrijpen van de onderliggende concepten is het ook belangrijk dat er geoefend wordt in het maken van berekenopgaven. Een groot gedeelte van het centraal eindexamen zal immers bestaan uit kwantitatief op te lossen vragen. Met een score van 38% van de punten op de berekenopgaven is deze vaardigheid behoorlijk onder de maat. Wil Peer Instruction succesvol zijn dan zullen de resultaten op de kwantitatief op te lossen vragen moeten verbeteren. In een eventueel vervolg van deze lessenserie zal dit een groot punt van aandacht moeten zijn.

Voor iedere lesmethode is voldoende draagvlak onder de leerlingen een vereiste. Uit de enquête blijkt dat 92% van de leerlingen deze lessen leuker vindt dan de normale lessen. Geen enkele leerling vindt de lessen minder leuk. Deze positieve attitude blijkt ook uit de enthousiaste manier waarop de leerlingen deelnemen aan deze lessen. Er is dus ruim voldoende draagvlak onder de leerlingen voor Peer Instruction. Het ziet er zelfs naar uit dat Peer Instruction ertoe bijdraagt dat leerlingen natuurkunde als vak leuker zijn gaan vinden.

Voor deze lessenserie is er gebruik gemaakt van heel specifieke hard- en software. Wil Peer Instruction succesvol zijn, dan moeten zowel de hard- als de software goed functioneren en niet te veel leestijd in beslag nemen. Vooral op de gebruikte software valt nogal wat aan te merken. Er moeten dan ook een aantal concessies gedaan worden om tot een werkbare situatie te komen. Als die concessies gedaan worden blijft er een degelijke lesmethode over waarmee een doorsnee docent uit de voeten zou moeten kunnen.

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat Peer Instruction aan de verwachtingen voldoet wat betreft het bijbrengen van conceptueel begrip. Op het gebied van het kwantitatief vragen oplossen blijkt deze lessenserie wat tegen te vallen. Het

draagvlak onder de leerlingen is bijzonder hoog en de werkbaarheid van met name de software is, mits er wat concessies worden gedaan, goed te doen. Alles afwegende en meegenomen dat er verklaringen en ideeën voor oplossingen zijn voor het kwantitatief vragen oplossen, is de conclusie dan ook dat Peer Instruction een reëel alternatief is als methode om natuurkundelessen te geven in vwo 5. Daar komt nog bij dat het een oplossing lijkt te bieden voor het oppervlakkig werken.

Aanbevelingen

- **Gebruik een gedeelte van de les om de opgedane conceptuele kennis toe te passen in berekenopgaven**

Er is in de opzet van deze lessenserie voor gekozen om een heel strikte scheiding te maken tussen het aanleren van conceptueel begrip (in de college-uren) en het oefenen met berekenopgaven (in de begeleidingsuren). Gezien de slechte score van de leerlingen op het maken van de kwantitatief op te lossen vragen lijkt het nodig om ook tijdens de college-lessen tijd te besteden aan het maken van berekenopgaven. Dit is ook iets dat de leerlingen zelf aangeven.

Het ligt dan voor de hand om de leerlingen opgaven te laten maken die direct verband houden met de zojuist aangeleerde concepten. De ideale verhouding tussen Peer Instruction en het maken van opgaven lijkt voor lessen mechanica uit te komen op 60% Peer Instruction en 40% opgaven oefenen.

In het geval dat er twee college-uren beschikbaar zijn (en geen begeleidingsuren), dan lijkt een percentage tussen de 40 en 50 procent Peer Instruction ideaal.

- **Omzeil de stemkastjes software gedeeltelijk**

Bij gebruik van SMART Notebook versie 10 i.c.m. Response is het aan te raden om de software voor een deel te omzeilen. Deze software gebruiken zoals deze bedoeld is blijkt niet werkbaar. Hoe er toch gewerkt kan worden met deze software staat beschreven in hoofdstuk 7. In appendix G is een script te vinden dat stap voor stap beschrijft hoe de software gebruikt kan worden voor een les met Peer Instruction.

- **Zorg voor meer ConcepTests per les**

Bij deze lessenserie was het zo dat alle voorbereide ConcepTests daadwerkelijk werden gebruikt in de les. Wegens het gebrek aan ConcepTests was het niet mogelijk om langer stil te staan bij een bepaald Concept als dat nodig was.

Om beter aan te kunnen sluiten bij het niveau van de leerlingen is het nodig om per concept op zijn minst het dubbele aantal ConcepTests te hebben. Voor een heel uur Peer Instruction zouden ongeveer 20 ConcepTests klaar moeten staan, waarvan dan ongeveer de helft gebruikt zal worden.

• Opzetten Peer Instruction wiki

Het maken van ConcepTests kost veel tijd. Eerst moet er worden uitgezocht welke concepten ten grondslag liggen aan hetgeen de leerlingen op dat moment moeten leren. Vervolgens moet er worden gebrainstormd naar aansprekende situaties waarin deze concepten getest zouden kunnen worden. Daarna moeten er concrete meerkeuzevragen worden bedacht, waarbij het erg belangrijk dat onder de foute antwoorden ook de meest voorkomende misconcepties van leerlingen zitten. Deze meerkeuzevragen moeten worden gedigitaliseerd en soms ook worden voorzien van een geschikte afbeelding. Als de ConcepTests gereed zijn moeten ze nog worden gerangschikt om er een consistente les van te maken.

De ervaring is dat dit gemiddeld meer dan een uur per ConcepTest kost. Het spreekt voor zich dat het ondoenlijk is voor een docent om per les ruim 10 uur aan voorbereiding te besteden. De enige manier om Peer Instruction een wezelijk onderdeel van het onderwijs te laten zijn is door samen te werken met andere docenten.

Een manier om deze samenwerken vorm te geven is het opzetten van een wiki voor Peer Instruction. Op een wiki kunnen docenten niet alleen hun gemaakte ConcepTests delen, maar is ook de mogelijkheid om elkaar ConcepTests te verbeteren. Iedere docent die betrokken raakt bij de wiki zal zijn eigen kennis, ervaringen en creativiteit inbrengen. Daarnaast zal iedere docent over een eigen groep leerlingen beschikken. Feedback van leerlingen is de beste manier om ConcepTests te verbeteren. Hoe meer leerlingen les krijgen met Peer Instruction, hoe sneller de kwaliteit van de ConcepTests op de wiki zal toenemen.

Een goede Peer Instruction wiki zal aan de volgende eisen moeten voldoen:

- mogelijkheid om ConcepTests toe te voegen
- eenvoudige syntax, zodat de drempel om ConcepTests te maken zo laag mogelijk is
- mogelijkheid voor het toevoegen van afbeeldingen, filmpjes en applets
- versiebeheer met een geschiedenis
- een discussieforum bij iedere ConcepTest
- gebruikersverificatie zodat alleen docenten bij de ConcepTests kunnen
- mogelijkheid om ConcepTests te exporteren voor direct gebruik in de les
- automatische licentie vermelding bij alle content

Referenties

- [1] AB Arons. *Teaching Introductory Physics*. Wiley, compilation of 3 previously published works edition, 1996.
- [2] C Crouch and E Mazur. Peer instruction: Engaging students one-on-one, all at once. In *Research-Based Reform of University Physics*, volume 1. April 2007.
- [3] CH Crouch, AP Fagen, JP Callan, and E Mazur. Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 72(6):835–838, June 2004.
- [4] CH Crouch and E Mazur. Peer Instruction: Ten years of experience and results. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 69(9):970–977, September 2001.
- [5] AP Fagen. *Assessing and enhancing the introductory science course in physics and biology: Peer Instruction, classroom demonstrations, and genetics vocabulary*. PhD thesis, Harvard University, 2003.
- [6] AP Fagen, CH Crouch, and E Mazur. Peer instruction: results from a range of classrooms. *THE PHYSICS TEACHER*, 40:206–209, April 2002.
- [7] RR Hake. Interactive-engagement versus total traditional methods: A six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 66(1):64–74, January 1998.
- [8] I Halloun, RR Hake, and E Mosca. Force Concept Inventory REVISION, August 1995.
- [9] IA Halloun and D Hestenes. Common sense concepts about motion. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 53:1056–1065, 1985.
- [10] IA Halloun and D Hestenes. The initial knowledge state of college physics students. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 53:1043–1048, 1985.
- [11] P Heller and D Huffman. Interpreting the Force Concept Inventory. *THE PHYSICS TEACHER*, 33(8):503, 507–511, 1995.
- [12] D Hestenes and M Wells. A Mechanics Baseline Test. *THE PHYSICS TEACHER*, 30(3):159–166, 1992.
- [13] D Hestenes, M Wells, and G Swackhamer. Force Concept Inventory. *THE PHYSICS TEACHER*, 30:141–158, March 1992.
- [14] D Huffman and P Heller. What does the Force Concept Inventory actually measure? *THE PHYSICS TEACHER*, 33:138–143, March 1995.
- [15] MC James. The effect of grading incentive on student discourse in peer instruction. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 74(8):689–691, August 2006.

- [16] N Lasry, E Mazur, and J Watkins. Peer instruction: From Harvard to the two-year college. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 76(11):1066–1069, November 2008.
- [17] M Lorenzo, CH Crouch, and E Mazur. Reducing the gender gap in the physics classroom. *AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS*, 74(10):940, OCT 2006.
- [18] E Mazur. *Peer Instruction: A User's Manual*. Series in Educational Innovation. Prentice Hall, Upper Saddle River, 1997.
- [19] E Mazur. EDUCATION Farewell, Lecture? *SCIENCE*, 323(5910):50–51, JAN 2 2009.
- [20] GM Novak, ET Patterson, AD Gavrin, and W Christian. *Just-in-time teaching: blending active learning with web technology*. Prentice Hall, 1999.
- [21] E Piepmeier. Use of conceptests in a large lecture course to provide active student involvement and peer teaching. *AMERICAN JOURNAL OF PHARMACEUTICAL EDUCATION*, 62(3):347–351, FAL 1998.

Appendix A: Tabellen

Tabel 8: Gegevens en resultaten per leerling. toelichting: [1] Het gemiddelde proefwerkcijfer van het voorgaande jaar. [2] Hake's *normalized gain* (voor formule zie paragraaf 4.1). [3] Percentage van de behaalde punten op de berekenvragen van de eindtoets. [4] Percentage van de behaalde punten op de begripsvragen van de eindtoets.

	geslacht	cijfer vwo 4 [1]	FCI pre-test	FCI post-test	normalized gain [2]	bereken vragen [3]	begrips vragen [4]
lIn01	meisje		40%				
lIn02	jongen	5.7	33%	63%	0.45	24%	70%
lIn03	meisje	7.8	50%	60%	0.20	33%	90%
lIn04	jongen	4.8	23%	87%	0.83	19%	80%
lIn05	jongen	8.0	83%	97%	0.80	62%	100%
lIn06	meisje	5.2	40%	70%	0.50	19%	80%
lIn07	meisje	4.6	30%	43%	0.19	24%	70%
lIn08	jongen	5.6	53%	80%	0.57	38%	100%
lIn09	jongen	7.6	43%	73%	0.53	67%	100%
lIn10	jongen	6.8	43%	80%	0.65	19%	80%
lIn11	jongen	5.6	60%				
lIn12	jongen	6.2	73%	87%	0.50	29%	100%
lIn13	meisje	3.9	37%	40%	0.05	24%	30%
lIn14	meisje	6.2	27%	50%	0.32	29%	80%
lIn15	meisje	7.5	33%	63%	0.45	38%	80%
lIn16	jongen	6.9	47%	67%	0.38	48%	90%
lIn17	jongen	6.8	70%	87%	0.56	76%	100%
lIn18	jongen	6.5	33%	73%	0.60	33%	70%
lIn19	jongen	5.7	30%	70%	0.57	48%	80%
lIn20	jongen	6.4	50%	63%	0.27	14%	80%
lIn21	meisje	5.9	27%	57%	0.41	5%	70%
lIn22	jongen	7.6	60%	80%	0.50	62%	100%
lIn23	meisje	5.5	40%	57%	0.28	48%	90%
lIn24	jongen	7.4	67%	77%	0.30	86%	100%
lIn25	jongen	5.0	40%	43%	0.06	24%	40%
gemiddelde:		6.21	45.3%	68.1%	0.432	37.7%	81.7%

Tabel 9: Gegeven antwoorden op de **FCI pre-test**. In de kolommen staan de vragen (1 t/m 30) met daarbij het goede antwoord en het percentage van de leerlingen dat het goede antwoord heeft gegeven. In de rijen staan de leerlingen (lIn01 t/m lIn25) met daarbij het percentage goede antwoorden per leerling. Goed gegeven antwoorden zijn met een grijze achtergrond aangegeven. De gemiddelde score is 45.3% voor alle leerlingen (N=25) en 44.9% voor de leerlingen die ook in de post-test zitten (N=23).

		1 C 12%	2 A 20%	3 C 52%	4 E 68%	5 B 4%	6 B 88%	7 B 76%	8 B 56%	9 E 60%	10 A 48%	11 D 12%	12 B 48%	13 D 12%	14 D 28%	15 A 28%
lIn01	40%	C	A	C	A	E	B	E	A	C	A	B	B	C	B	C
lIn02	33%	D	D	A	E	E	C	A	C	C	A	C	C	A	A	C
lIn03	50%	D	D	A	E	D	B	B	B	E	A	C	B	A	D	C
lIn04	23%	D	E	A	E	E	B	B	A	C	D	B	C	B	A	A
lIn05	83%	D	A	A	E	E	B	B	B	E	A	D	B	D	D	C
lIn06	40%	A	D	A	E	E	B	E	B	E	E	A	B	B	B	C
lIn07	30%	D	D	A	A	C	B	B	D	E	C	B	D	C	C	D
lIn08	53%	C	D	C	E	C	B	B	E	C	A	D	B	C	B	C
lIn09	43%	D	D	C	E	E	B	B	B	E	D	B	D	C	D	C
lIn10	43%	A	E	C	E	D	B	B	B	D	D	C	B	C	C	C
lIn11	60%	C	A	C	E	C	B	B	A	E	A	C	B	B	C	A
lIn12	73%	D	B	C	E	B	B	B	B	E	A	E	B	C	D	C
lIn13	37%	D	D	C	E	C	B	E	E	B	C	B	B	C	B	A
lIn14	27%	D	D	A	A	C	B	B	B	E	D	B	C	B	C	B
lIn15	33%	D	D	A	E	C	B	C	B	E	D	C	C	C	D	C
lIn16	47%	A	B	C	A	C	B	B	B	E	A	A	B	C	A	A
lIn17	70%	A	D	C	E	C	B	B	B	E	A	E	B	D	D	A
lIn18	33%	D	E	E	E	D	A	B	B	E	D	B	C	B	A	C
lIn19	30%	A	B	B	A	E	B	B	D	C	A	B	C	B	D	C
lIn20	50%	D	A	C	E	D	B	B	B	E	C	D	C	C	C	B
lIn21	27%	D	D	E	A	C	B	B	D	B	D	B	C	B	A	C
lIn22	60%	D	B	C	A	D	B	B	A	B	A	B	C	C	B	A
lIn23	40%	A	A	C	E	D	A	B	A	E	D	C	D	B	A	C
lIn24	67%	A	B	C	A	E	B	B	B	E	A	E	B	D	C	C
lIn25	40%	D	E	A	E	C	B	E	B	C	D	C	C	C	A	A

		16 A 84%	17 B 44%	18 B 8%	19 E 88%	20 E 36%	21 E 44%	22 B 28%	23 B 40%	24 A 48%	25 C 52%	26 D 52%	27 C 64%	28 E 72%	29 B 76%	30 C 12%
lIn01	40%	C	A	C	E	D	E	B	B	B	D	A	A	D	B	E
lIn02	33%	A	D	D	E	C	D	D	B	A	A	D	C	E	B	E
lIn03	50%	A	B	D	E	C	D	A	D	E	C	D	B	E	B	E
lIn04	23%	E	E	D	A	B	C	D	B	A	E	A	A	E	A	E
lIn05	83%	A	B	B	E	D	E	B	B	A	D	D	C	E	B	C
lIn06	40%	D	A	E	E	D	B	D	C	E	C	D	B	E	B	C
lIn07	30%	A	E	D	E	A	B	D	B	A	B	C	C	D	B	B
lIn08	53%	A	B	E	E	B	E	E	B	E	C	A	C	D	B	B
lIn09	43%	A	A	D	E	A	C	A	D	A	C	A	C	E	B	E
lIn10	43%	A	A	E	E	D	E	C	C	C	E	A	C	E	B	E
lIn11	60%	A	A	D	E	D	B	B	C	A	C	A	C	E	D	E
lIn12	73%	A	B	C	E	D	D	B	B	A	C	D	C	E	B	A
lIn13	37%	A	B	C	E	C	D	D	C	E	D	D	A	E	B	E
lIn14	27%	E	E	D	E	B	C	A	D	C	C	A	C	E	A	E
lIn15	33%	A	B	D	E	E	A	A	D	E	E	D	C	A	D	E
lIn16	47%	A	B	E	E	C	E	A	D	E	C	D	B	D	D	E
lIn17	70%	A	A	A	E	A	E	B	B	A	B	D	C	E	B	E
lIn18	33%	A	A	E	C	C	E	D	D	A	A	E	C	E	B	E
lIn19	30%	A	A	E	E	D	A	E	D	C	E	D	B	D	B	E
lIn20	50%	A	A	E	E	B	E	E	D	A	B	A	C	E	B	E
lIn21	27%	A	D	D	E	D	D	D	E	C	C	D	C	D	D	E
lIn22	60%	A	B	D	E	D	E	B	B	A	C	D	C	E	B	E
lIn23	40%	A	B	E	E	C	B	A	A	E	C	D	A	E	B	E
lIn24	67%	A	B	B	E	A	E	B	A	A	C	B	C	E	B	C
lIn25	40%	A	B	E	E	A	E	D	B	E	C	A	A	E	B	E

Appendix A: Tabellen

Tabel 10: Gegeven antwoorden op de **FCI post-test**. In de kolommen staan de vragen (1 t/m 30) met daarbij het goede antwoord en het percentage van de leerlingen dat het goede antwoord heeft gegeven. In de rijen staan de leerlingen (lIn01 t/m lIn25) met daarbij het percentage goede antwoorden per leerling. Goed gegeven antwoorden zijn met een grijze achtergrond aangegeven. De gemiddelde score is 68.1% (N=23).

		1 C 65%	2 A 43%	3 C 43%	4 E 96%	5 B 70%	6 B 100%	7 B 83%	8 B 35%	9 E 26%	10 A 61%	11 D 61%	12 B 74%	13 D 48%	14 D 61%	15 A 39%
lIn01																
lIn02	63%	D	B	A	A	B	B	A	B	B	A	D	B	D	A	C
lIn03	60%	A	B	A	E	B	B	B	D	B	D	D	B	C	A	C
lIn04	87%	C	A	C	E	B	B	B	B	C	E	C	B	D	D	A
lIn05	97%	C	A	C	E	B	B	B	B	E	A	D	B	D	D	A
lIn06	70%	C	A	A	E	B	B	E	D	C	A	D	B	B	B	C
lIn07	43%	C	A	C	E	E	B	B	E	C	D	C	C	A	A	B
lIn08	80%	C	B	C	E	B	B	B	E	E	A	D	B	C	D	C
lIn09	73%	D	D	B	E	B	B	B	D	E	A	D	B	D	A	A
lIn10	80%	C	A	C	E	B	B	B	D	E	C	A	B	D	D	C
lIn11																
lIn12	87%	C	A	C	E	B	B	B	B	E	A	D	C	D	D	C
lIn13	40%	C	D	A	E	C	B	A	D	B	D	E	C	C	A	A
lIn14	50%	A	B	A	E	D	B	B	D	C	D	C	B	B	D	A
lIn15	63%	C	A	A	E	A	B	B	D	B	A	D	C	C	D	A
lIn16	67%	C	B	A	E	B	B	B	D	C	A	A	B	D	A	B
lIn17	87%	A	A	C	E	B	B	B	B	C	A	D	B	B	D	A
lIn18	73%	C	B	C	E	D	B	B	B	C	A	D	B	C	D	C
lIn19	70%	C	A	A	E	B	B	B	D	C	A	A	B	D	D	C
lIn20	63%	D	B	A	E	C	B	B	B	E	A	A	C	D	D	A
lIn21	57%	C	D	C	E	B	B	B	D	B	D	D	B	C	A	C
lIn22	80%	C	B	C	E	B	B	B	A	B	A	D	B	D	D	C
lIn23	57%	B	A	A	E	A	B	B	A	B	D	D	B	B	D	C
lIn24	77%	A	C	A	E	B	B	B	B	A	A	D	B	D	D	C
lIn25	43%	C	C	A	E	B	B	A	E	B	B	C	C	C	C	A

		16 A 87%	17 B 78%	18 B 61%	19 E 78%	20 D 61%	21 E 78%	22 B 78%	23 B 57%	24 A 100%	25 C 78%	26 D 52%	27 C 78%	28 E 87%	29 B 91%	30 C 74%
lIn01																
lIn02	63%	A	B	B	E	A	C	B	D	A	C	D	C	E	B	C
lIn03	60%	A	B	B	E	C	E	B	C	A	C	D	C	E	B	E
lIn04	87%	A	B	B	E	D	E	B	B	A	C	A	C	E	B	C
lIn05	97%	A	B	B	E	D	E	B	B	A	C	E	C	E	B	C
lIn06	70%	C	B	B	E	D	E	D	B	A	C	D	C	E	B	C
lIn07	43%	C	D	E	E	D	B	B	C	A	D	D	A	E	B	E
lIn08	80%	A	B	D	E	D	E	B	B	A	C	A	C	E	B	C
lIn09	73%	A	B	E	D	D	E	B	B	A	C	B	C	E	B	C
lIn10	80%	A	A	B	E	D	E	B	B	A	C	D	C	D	B	C
lIn11																
lIn12	87%	A	B	A	E	D	E	A	B	A	C	D	C	E	B	C
lIn13	40%	E	E	E	D	D	E	B	C	A	C	D	A	E	B	B
lIn14	50%	A	B	D	E	A	E	B	C	A	D	A	C	E	B	E
lIn15	63%	A	B	B	E	D	E	A	D	A	C	A	B	E	C	C
lIn16	67%	A	B	B	A	C	E	B	B	A	C	D	C	E	A	C
lIn17	87%	A	B	B	E	C	E	B	B	A	C	D	C	E	B	C
lIn18	73%	A	B	B	C	C	E	B	B	A	C	A	C	E	B	C
lIn19	70%	A	A	B	E	D	E	B	B	A	D	A	C	D	B	C
lIn20	63%	A	B	C	E	D	D	B	B	A	A	A	C	E	B	B
lIn21	57%	A	A	B	E	C	E	B	C	A	D	A	C	E	B	A
lIn22	80%	A	B	B	E	D	E	D	B	A	C	D	C	D	B	C
lIn23	57%	A	B	D	E	D	B	D	C	A	C	D	A	E	B	C
lIn24	77%	A	B	B	E	A	E	B	A	A	C	D	C	E	B	C
lIn25	43%	A	B	A	A	A	B	B	C	A	C	A	A	E	B	C

Force Concept Inventory

Originele publicatie in The Physics Teacher, maart 1992

door

David Hestenes, Malcolm Wells, en Gregg Swackhamer

Revisie augustus 1995

door

Ibrahim Halloun, Richard Hake en Eugene Mosca

Vertaling augustus 2009

door

Hinke van Zwamans

Force Concept Inventory

The *Force Concept Inventory* (FCI) is a multiple-choice "test" designed to assess student understanding of the *most basic* concepts in Newtonian mechanics. The FCI can be used for several different purposes, but the most important one is to evaluate the effectiveness of instruction. For a full understanding of what has gone into the development of this instrument and how it can be used, the FCI papers^{1,2} should be consulted, as well as: (a) the papers on the Mechanics Diagnostic Test^{3,4}, the FCI predecessor, (b) the paper on the Mechanics Baseline Test⁵ which is recommended as an FCI companion test for assessing quantitative problem-solving skills, and (c) Richard Hake's⁶ data collection on university and high school physics taught by many different teachers and methods across the USA.

References

1. David Hestenes, Malcolm Wells, & Gregg Swackhame (1992). Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 30 (3), 141-151.
2. David Hestenes & Ibrahim Halloun (1995). Interpreting the Force Concept Inventory, *The Physics Teacher*, 33 (8), 502, 504-506.
3. Ibrahim Halloun & David Hestenes (1985). The initial knowledge state of college physics students, *American Journal of Physics*, 53 (11), 1043-1055.
4. Ibrahim Halloun & David Hestenes (1985). Common sense concepts about motion, *American Journal of Physics*, 53 (11), 1056-1065.
5. David Hestens & Malcolm Wells (1992). Mechanics Baseline Test, *The Physics Teacher*, 30 (3), 159-166.
6. Richard Hake (1994, August). Survey of Test Data for Introductory Mechanics Courses, *AAPT Announcer*, 24 (2), 55.

Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

Antwoordvel

naam: _____

klas: _____

datum: _____

vraag 1	a	b	c	d	e
vraag 2	a	b	c	d	e
vraag 3	a	b	c	d	e
vraag 4	a	b	c	d	e
vraag 5	a	b	c	d	e
vraag 6	a	b	c	d	e
vraag 7	a	b	c	d	e
vraag 8	a	b	c	d	e
vraag 9	a	b	c	d	e
vraag 10	a	b	c	d	e
vraag 11	a	b	c	d	e
vraag 12	a	b	c	d	e
vraag 13	a	b	c	d	e
vraag 14	a	b	c	d	e
vraag 15	a	b	c	d	e
vraag 16	a	b	c	d	e
vraag 17	a	b	c	d	e
vraag 18	a	b	c	d	e
vraag 19	a	b	c	d	e
vraag 20	a	b	c	d	e
vraag 21	a	b	c	d	e
vraag 22	a	b	c	d	e
vraag 23	a	b	c	d	e
vraag 24	a	b	c	d	e
vraag 25	a	b	c	d	e
vraag 26	a	b	c	d	e
vraag 27	a	b	c	d	e
vraag 28	a	b	c	d	e
vraag 29	a	b	c	d	e
vraag 30	a	b	c	d	e

Vragenlijst

Schrijf **niet** op deze vragenlijst.

Omcirkel het goede antwoord op het antwoordvel.

Omcirkel **maximaal één** antwoord.

Sla **geen** vragen over.

Probeer niet te gokken. Jouw antwoord moet weergeven wat **jij** denkt dat goed is.

Probeer de vragenlijst af te ronden in 30 minuten.

Veel succes!

Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

1. Twee metalen ballen zijn even groot, maar de ene weegt twee keer zoveel als de andere. Iemand laat de ballen tegelijkertijd van de eerste verdieping van een gebouw vallen. De tijd die het duurt voordat de ballen de grond raken is:
 - (A) voor de zware bal ongeveer de helft van de lichte.
 - (B) voor de lichte bal ongeveer de helft van de zware.
 - (C) voor beide ballen ongeveer even lang.
 - (D) aanzienlijk korter voor de zwaardere bal, maar niet perse de helft.
 - (E) aanzienlijk korter voor de lichtere bal, maar niet perse de helft.

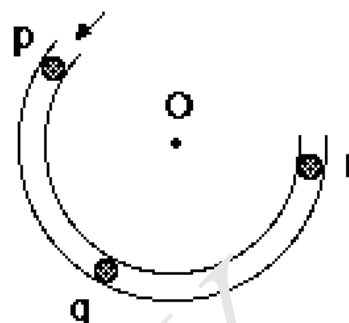
2. De metalen ballen uit de vorige opgave rollen met dezelfde snelheid van een horizontale tafel. In deze situatie:
 - (A) raken beide ballen de vloer op ongeveer dezelfde horizontale afstand vanaf de voet van de tafel.
 - (B) raakt de zwaardere bal de vloer op ongeveer de helft van de horizontale afstand vanaf de voet van de tafel in vergelijking met de lichtere.
 - (C) raakt de lichtere bal de vloer op ongeveer de helft van de horizontale afstand vanaf de voet van de tafel in vergelijking met de zwaardere.
 - (D) raakt de zwaardere bal de vloer aanzienlijk dichterbij de tafel dan de lichtere, maar niet perse de helft.
 - (E) raakt de lichtere bal de vloer aanzienlijk dichterbij de tafel dan de zwaardere, maar niet perse de helft.

3. Een steen die vanaf de eerste verdieping van een gebouw op de grond valt:
 - (A) bereikt zijn grootste snelheid al snel na het begin van de val en valt daarna met een constante snelheid.
 - (B) versnelt tijdens de val, omdat de zwaartekracht sterker wordt naarmate de steen dichterbij de aarde komt.
 - (C) versnelt als gevolg van een bijna constante zwaartekracht die erop werkt.
 - (D) valt als gevolg van de natuurlijke neiging van alle voorwerpen om op de oppervlakte van de aarde te liggen.
 - (E) valt als gevolg van een combinatie van de zwaartekracht, die hem naar beneden duwt, en de kracht van de lucht die hem naar beneden duwt.

4. Een grote vrachtwagen en een kleine personenauto botsen frontaal tegen elkaar op. Tijdens de botsing:
 - (A) oefent de vrachtwagen een grotere kracht uit op de auto, dan de auto op de vrachtwagen.
 - (B) oefent de auto een grotere kracht uit op de vrachtwagen, dan de vrachtwagen op de auto.
 - (C) wordt er helemaal geen kracht uitgeoefend; de auto wordt verpletterd door de vrachtwagen omdat deze in de weg zit.
 - (D) oefent de vrachtwagen een kracht uit op de auto, maar de auto oefent geen kracht uit op de vrachtwagen.
 - (E) oefent de vrachtwagen een even grote kracht uit op de auto als de auto op de vrachtwagen.

GEBRUIK ONDERSTAANDE TEKST EN FIGUUR OM DE VOLGENDE TWEE VRAGEN TE BEANTWOORDEN (5 EN 6).

De figuur hiernaast laat een cirkelvormige geleider zien, die geen wrijving geeft. Punt "O" is het midden van die cirkel. De geleider zit vastgemaakt op een wrijvingsloos en horizontaal tafelblad. Je bekijkt de tafel van boven. De krachten die door de lucht worden uitgeoefend zijn verwaarloosbaar. Een bal wordt op hoge snelheid in de geleider geschoten bij punt "p". De bal komt uit de geleider bij punt "r".



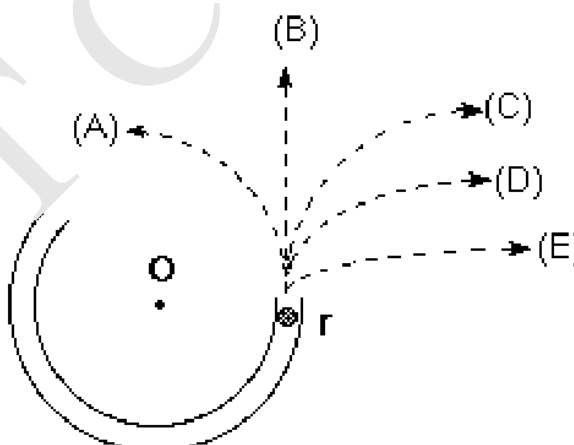
5. Beschouw de volgende krachten:

1. Een neerwaartse zwaartekracht.
2. Een kracht uitgeoefend door de geleider in de richting van q naar O.
3. Een kracht in de bewegingsrichting.
4. Een kracht in de richting van O naar q.

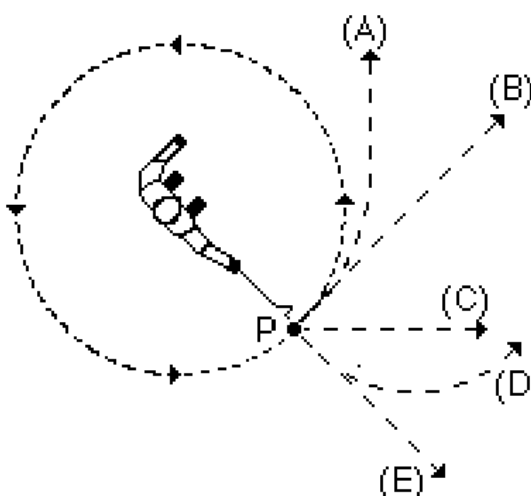
Welke van bovenstaande krachten oefent (oefenen) een kracht uit op de bal als deze in de wrijvingsloze geleider op plaats "q" is?

- (A) Alleen 1.
- (B) 1 en 2.
- (C) 1 en 3.
- (D) 1, 2 en 3.
- (E) 1, 3 en 4.

6. Welk pad in de figuur hiernaast past het beste bij het pad van de bal als deze uit de geleider komt bij punt "r" en over het wrijvingsloze tafelblad beweegt.

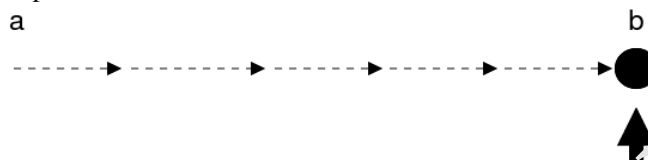


7. Een metalen bal zit vast aan een touw en wordt in een cirkel rondgezwaaid in een horizontaal vlak, zoals te zien is in het figuur hiernaast. Als de bal op punt P (zie figuur) is, dan breekt het touw plotseling bij de bal af. Als je dit recht van boven bekijkt, welke baan past dan het beste bij de baan van de bal na het afbreken?

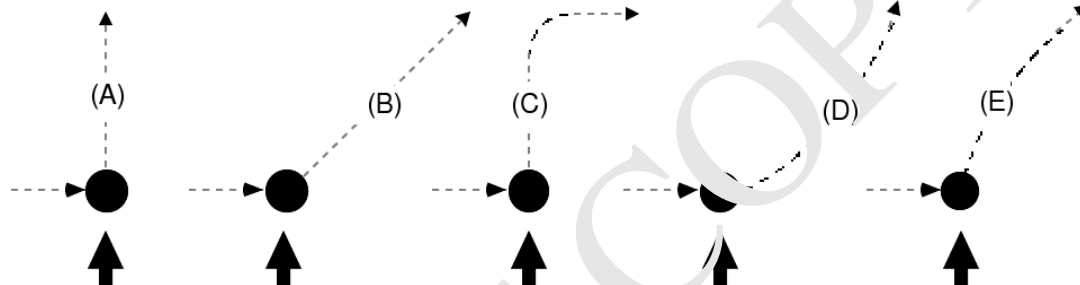


GEbruik ONDERSTAANDE TEKST EN FIGUUR OM DE VOLGENDE VIER VRAGEN TE BEANTWOORDEN (8 T/M 11).

In de figuur hieronder is een ijshockeypuck te zien, die met een constante snelheid v_0 in een rechte lijn beweegt van punt "a" naar punt "b", op een wrijvingsloos en horizontaal oppervlak. De krachten die door de lucht worden uitgeoefend zijn verwaarloosbaar. Als de puck punt "b" bereikt, dan krijgt deze een korte horizontale klap in de richting van de dikke pijl. Als de puck stil had gelegen in punt "b", dan zou de puck een horizontale beweging zijn gaan maken met snelheid v_k , in de richting van de klap.



8. Welke van onderstaande paden lijkt het meeste op het pad van de puck na de klap?



9. De snelheid van de puck vlak na de klap is:

- (A) gelijk aan de snelheid " v_0 " die hij had voor de klap.
- (B) gelijk aan de snelheid " v_k " die hij krijgt van de klap, en die onafhankelijk is van de snelheid " v_0 ".
- (C) gelijk aan de rekenkundige som van de snelheden " v_0 " en " v_k ".
- (D) kleiner dan zowel " v_0 " als " v_k ".
- (E) groter dan zowel " v_0 " als " v_k ", maar kleiner dan de rekenkundige som van " v_0 " en " v_k ".

10. Op het wrijvingsloze pad dat je gekozen hebt bij vraag 8, geldt dat de snelheid van de puck na de klap:

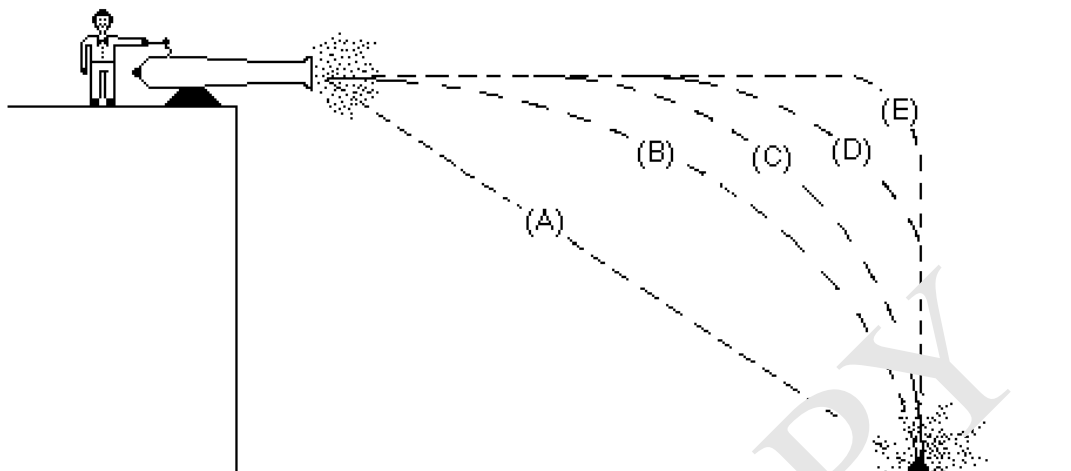
- (A) constant is.
- (B) steeds groter wordt.
- (C) steeds kleiner wordt.
- (D) heel even groter wordt, en daarna steeds kleiner wordt.
- (E) even constant blijft en daarna steeds kleiner wordt.

11. Op het wrijvingsloze pad, dat je gekozen hebt bij vraag 8, geldt dat de belangrijkste kracht(en) op de puck na de klap:

- (A) de neerwaartse zwaartekracht is.
- (B) de neerwaartse zwaartekracht is, en een horizontale kracht in de bewegingsrichting.
- (C) de neerwaartse zwaartekracht is, en een opwaartse kracht uitgeoefend door het oppervlak, en een horizontale kracht in de bewegingsrichting.
- (D) de neerwaartse zwaartekracht is, en een opwaartse kracht uitgeoefend door het oppervlak.
- (E) niet bestaan. (Er wordt geen kracht op de puck uitgeoefend.)

Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

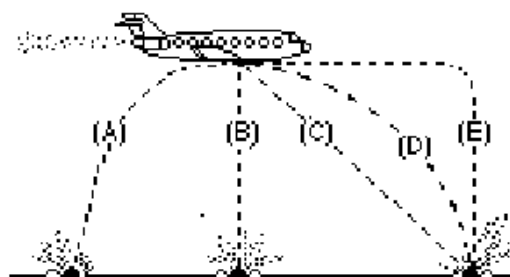
12. Een kanonskogel wordt afgevuurd met een kanon vanaf een verhoging zoals te zien is in onderstaande figuur. Welke baan lijkt het meeste op de baan van de kanonskogel?



13. Een jongen gooit een stalen bal recht omhoog. Beschouw alleen de beweging van de bal nadat deze is losgelaten door de jongen, maar voordat deze de grond raakt. Neem aan dat de krachten die door de lucht worden uitgeoefend verwaarloosbaar zijn. De kracht(en) die op de bal wordt (worden) uitgeoefend is (zijn):
- (A) een neerwaartse zwaartekracht, en een gestaag afnemende opwaartse kracht.
 - (B) een gestaag afnemende opwaartse kracht vanaf het moment dat de bal de hand heeft verlaten, tot aan het hoogste punt; op de terugweg is er een gestaag toenemende neerwaartse zwaartekracht als het object dichterbij de aarde komt.
 - (C) een bijna constante neerwaartse zwaartekracht samen met een opwaartse kracht die gestaag afneemt tot aan het hoogste punt; op de terugweg is er alleen een constante neerwaartse zwaartekracht.
 - (D) alleen een bijna constante neerwaartse zwaartekracht.
 - (E) geen van de bovenstaande. De bal valt terug naar de aarde omdat het de natuurlijke neiging is van de bal om te rusten op het aardoppervlak.

14. Een bowlingbal valt per ongeluk uit het laderuim van een horizontaal vliegend vliegtuig.

Gezien vanuit een persoon op de grond, die het vliegtuig ziet zoals in de figuur hiernaast; welke baan lijkt het meeste op de baan die de bal beschrijft nadat deze uit het vliegtuig is gevallen?



Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

GEBRUIK ONDERSTAANDE TEKST EN FIGUUR OM DE VOLGENDE TWEE VRAGEN TE BEANTWOORDEN (15 EN 16).

Een grote vrachtwagen krijgt pech onderweg en wordt door een kleine personenauto terug naar de stad geduwd, zoals te zien is in de figuur hieronder.

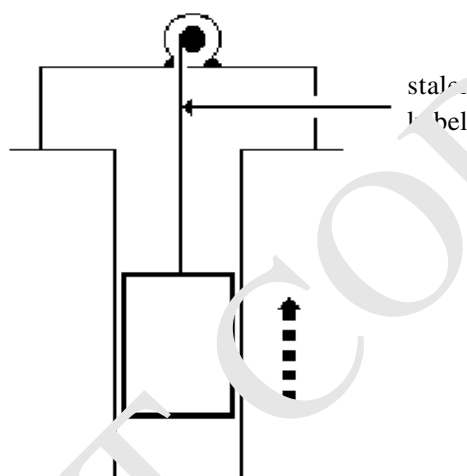


15. Als de auto aan het optrekken is en tegelijkertijd de vrachtwagen aan het duwen is, dan:
- (A) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt gelijk aan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (B) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt kleiner dan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (C) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt groter dan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (D) loopt de motor van de auto waardoor de auto tegen de vrachtwagen duwt, maar de motor van de vrachtwagen loopt niet en daarom kan de vrachtwagen niet terugduwen. De vrachtwagen wordt voortgeduwd omdat deze zich simpelweg in de weg van de auto bevindt.
 - (E) oefenen geen van beide kracht op elkaar uit. De vrachtwagen wordt voortgeduwd omdat deze zich simpelweg in de weg van de auto bevindt.
16. Als de auto de gewenste constante snelheid heeft bereikt dan:
- (A) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt gelijk aan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (B) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt kleiner dan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (C) is de kracht waarmee de auto tegen de vrachtwagen duwt groter dan de kracht waarmee de vrachtwagen tegen de auto duwt.
 - (D) loopt de motor van de auto waardoor de auto tegen de vrachtwagen duwt, maar de motor van de vrachtwagen loopt niet en daarom kan de vrachtwagen niet terugduwen. De vrachtwagen wordt voortgeduwd omdat deze zich simpelweg in de weg van de auto bevindt.
 - (E) oefenen geen van beide kracht op elkaar uit. De vrachtwagen wordt voortgeduwd omdat deze zich simpelweg in de weg van de auto bevindt.

Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

17. Een lift wordt met een constante snelheid door een liftschacht omhoog getrokken met behulp van een stalen kabel, zoals te zien is in onderstaande figuur. Alle wrijvingskrachten zijn te verwaarlozen. Voor de krachten die op de lift werken 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 veroorzaakt door de lucht.
- (E) geen van bovenstaande. (De lift gaat omhoog omdat de kabel wordt ingekort en niet omdat er een opwaartse kracht wordt uitgeoefend op de lift door de kabel.)



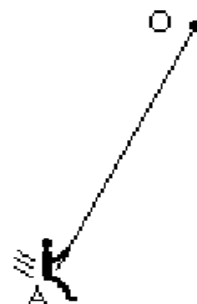
Lift die met een constante
snelheid omhoog gaat

18. De onderstaande figuur laat een jongen zien die aan een touw slingert, met een beginpunt dat hoger ligt dan punt A. Beschouw de volgende onderscheidbare krachten:

- 1. Een neerwaartse zwaartekracht.
- 2. Een kracht uitgeoefend door het touw in de richting van A naar O.
- 3. Een kracht in de bewegingsrichting van de jongen.
- 4. Een kracht in de richting van O naar A.

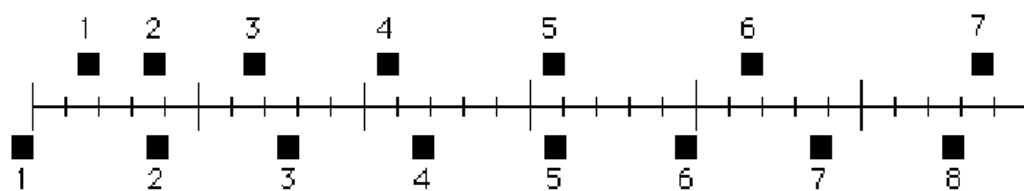
Welke van bovenstaande krachten is (zijn) van toepassing op de jongen als deze zich op positie A bevindt?

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



Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

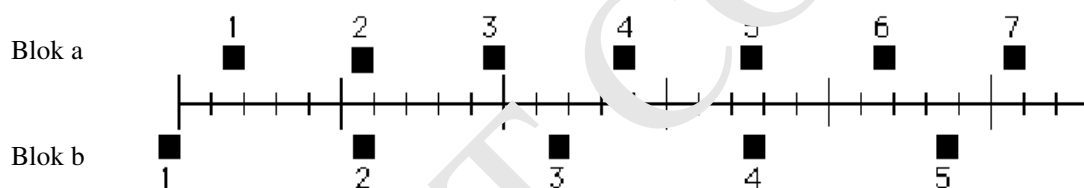
19. De genummerde vierkantjes in onderstaande figuur geven met opeenvolgende intervallen van 0,20 seconde de posities weer van twee blokken. De blokken bewegen naar rechts.



Hebben de blokken op een bepaald moment dezelfde snelheid?

- (A) Nee.
- (B) Ja, op tijdstip 2.
- (C) Ja, op tijdstip 5.
- (D) Ja, op tijdstip 2 en 5.
- (E) Ja, ergens op het interval tussen 3 en 4.

20. De genummerde vierkantjes in onderstaande figuur geven met opeenvolgende intervallen van 0,20 seconde de posities weer van twee blokken. De blokken bewegen naar rechts.



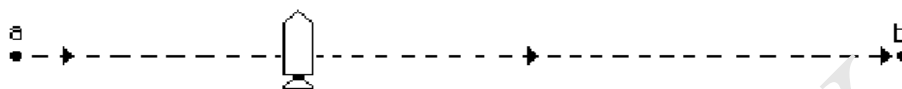
De versnellingen van de twee blokken zijn als volgt aan elkaar gerelateerd:

- (A) De versnelling van "a" is groter dan de versnelling van "b".
- (B) De versnelling van "a" is gelijk aan de versnelling van "b". Beide versnellingen zijn groter dan nul.
- (C) De versnelling van "b" is groter dan de versnelling van "a".
- (D) De versnelling van "a" is gelijk aan de versnelling van "b". Beide versnellingen zijn gelijk aan nul.
- (E) Er is niet genoeg informatie om de vraag te kunnen beantwoorden.

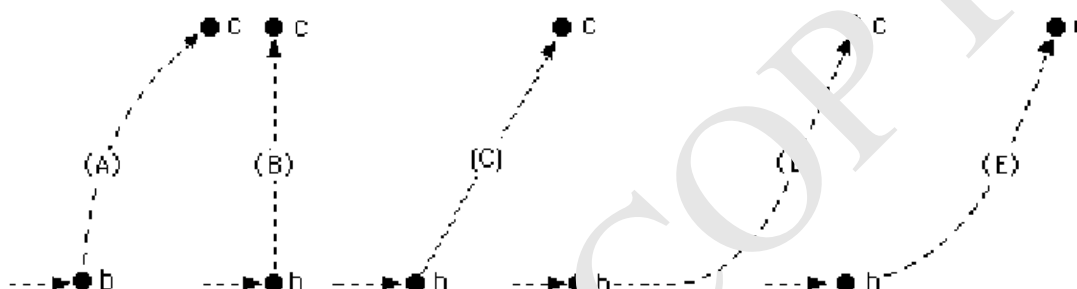
Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

GEBRUIK ONDERSTAANDE TEKST EN FIGUUR OM DE VOLGENDE VIER VRAGEN TE BEANTWOORDEN (21 T/M 24).

Een raket zweeft zijdelings in de ruimte van punt "a" naar punt "b", zoals te zien is in de figuur. Op de raket worden geen uitwendige krachten uitgeoefend. Op punt "b" wordt de motor van de raket gestart. Deze produceert een constante voortstuwing (kracht op de raket), loodrecht op de lijn "ab". De constante voortstuwing wordt gehandhaafd totdat de raket een zeker punt "c" in de ruimte heeft bereikt.



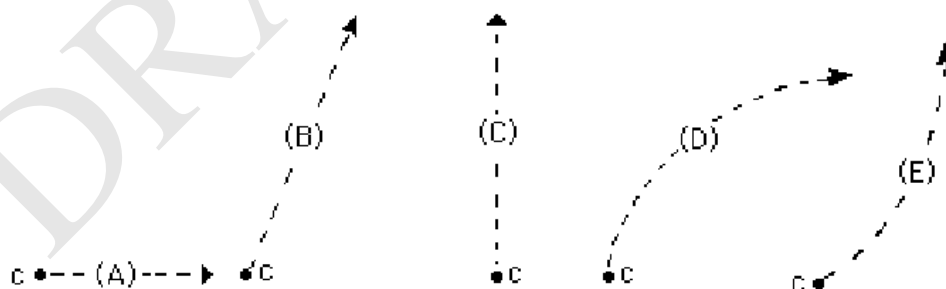
21. Welke van onderstaande banen beschrijft het beste de baan van de raket tussen punt "b" en "c"?



22. De snelheid van de raket tussen punt "b" en punt "c":

- (A) is constant.
- (B) neemt voortdurend toe.
- (C) neemt voortdurend af.
- (D) neemt eerst even toe en blijft daarna constant.
- (E) is eerst even constant en neemt daarna af.

23. Op punt "c" wordt de motor van de raket afgezet en de voortstuwing valt onmiddellijk terug naar nul. Welke van onderstaande banen beschrijft het beste de baan van de raket na punt "c"?



24. De snelheid van de raket na punt "c":

- (A) is constant.
- (B) neemt voortdurend toe.
- (C) neemt voortdurend af.
- (D) neemt eerst even toe en blijft daarna constant.
- (E) is eerst even constant en neemt daarna af.

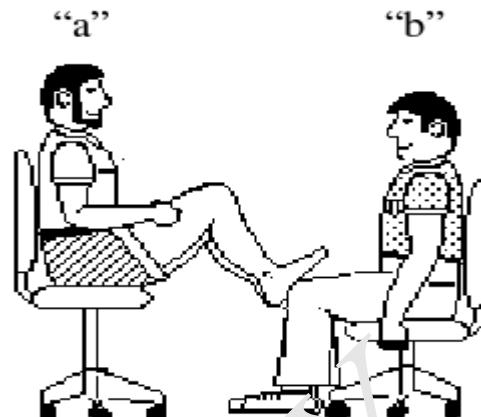
Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

25. Een vrouw oefent een constante, horizontale kracht uit op een grote doos. Als gevolg hiervan beweegt deze doos met een constante snelheid " v_0 " over de horizontale vloer. De constante horizontale kracht uitgeoefend door de vrouw:
- (A) heeft dezelfde grootte als het gewicht van de doos.
 - (B) is groter dan het gewicht van de doos.
 - (C) heeft dezelfde grootte als de totale kracht die de beweging van de doos tegenwerkt.
 - (D) is groter dan de totale kracht die de beweging van de doos tegenwerkt.
 - (E) is groter dan het gewicht van de doos of de totale kracht die de beweging van de doos tegenwerkt.
26. Als de vrouw uit de vorige vraag de constante horizontale kracht die zij uitoefent op de doos verdubbelt en zij blijft deze doos voortduwen op dezelfde horizontale vloer, dan zal de doos:
- (A) zich voortbewegen met een constante snelheid, die twee keer zo groot is als de snelheid " v_0 " uit de vorige vraag.
 - (B) zich voortbewegen met een constante snelheid, die groter is dan de snelheid " v_0 " uit de vorige vraag, maar niet perse twee keer zo groot.
 - (C) zich een een tijdje voortbewegen met een constante snelheid die groter is dan " v_0 " uit de vorige vraag. Daarna zal de snelheid voortdurend toenemen.
 - (D) zich een tijdje voortbewegen met een toenemende snelheid. Daarna blijft de snelheid constant.
 - (E) zich met een voortdurend toenemende snelheid voortbewegen.
27. Als de vrouw uit vraag 25 plotseling zou stoppen met het uitoefenen van de horizontale kracht op de doos, dan zal de doos:
- (A) onmiddellijk tot stilstand komen.
 - (B) zich eerst een tijdje met een constante snelheid blijven voortbewegen en daarna langzaam tot stilstand komen.
 - (C) onmiddellijk beginnen vertragen tot deze tot stilstand is gekomen.
 - (D) met een constante snelheid blijven voortbewegen.
 - (E) eerst een tijdje in snelheid toenemen en daarna vertragen tot deze tot stilstand is gekomen.

Appendix B: Vertaling van de "Force Concept Inventory"

28. In de figuur aan de rechterkant heeft student "a" een massa van 95 kg en student "b" heeft een massa van 77 kg. Ze zitten op identieke bureaustoelen met hun gezichten naar elkaar toe.

Student "a" plaatst zijn blote voeten op de knieën van student "b", zoals de figuur laat zien. Dan zet student "a" zich plotseling af tegen student "b" zodat beide stoelen in beweging komen.



Tijdens het moment van afzetten en terwijl de twee studenten elkaar nog steeds raken:

- (A) oefenen de studenten geen krachten op elkaar uit.
 - (B) oefent student "a" een kracht uit op student "b", maar "b" oefent geen kracht uit op "a".
 - (C) oefenen beide studenten een kracht op elkaar uit, maar "b" oefent de grootste kracht uit.
 - (D) oefenen beide studenten een kracht op elkaar uit, maar "a" oefent de grootste kracht uit.
 - (E) oefenen beide studenten evenveel kracht op elkaar uit.
29. Een lege bureaustoel staat stil op een vloer. Beschouw de volgende krachten:
- 1. Een neerwaartse zwaartekracht.
 - 2. Een opwaartse kracht uitgeoefend door de vloer.
 - 3. Een netto neerwaartse kracht uitgeoefend door de lucht.
- Welke van deze krachten wordt (worden) uitgeoefend op de bureaustoel?
- (A) Alleen 1.
 - (B) 1 en 2.
 - (C) 2 en 3.
 - (D) 1, 2 en 3.
 - (E) Geen van allen. (Omdat de stoel stil staat werken er geen krachten op.)

30. Ondanks een heel sterke wind lukt het een tennisster een tennisbal zo te raken dat de bal over het net gaat en op de helft van haar tegenstander belandt.

Beschouw de volgende krachten:

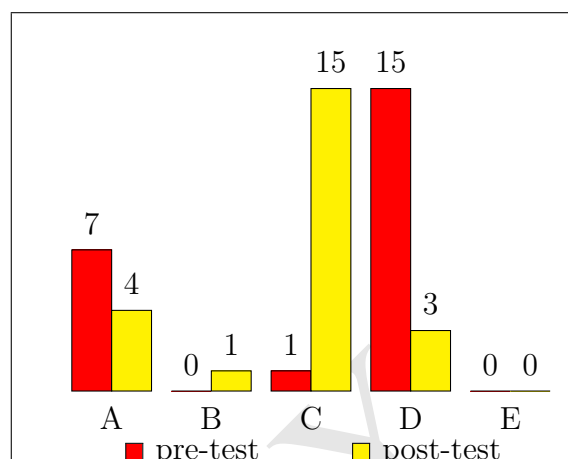
- 1. Een neerwaartse zwaartekracht.
- 2. Een kracht van "de slag".
- 3. Een kracht uitgeoefend door de lucht.

Welke van bovenstaande krachten wordt (worden) uitgeoefend op de tennisbal nadat de bal het racket heeft verlaten en voordat de bal de grond heeft geraakt?

- (A) Alleen 1.
- (B) 1 en 2.
- (C) 1 en 3.
- (D) 2 en 3.
- (E) 1, 2 en 3.

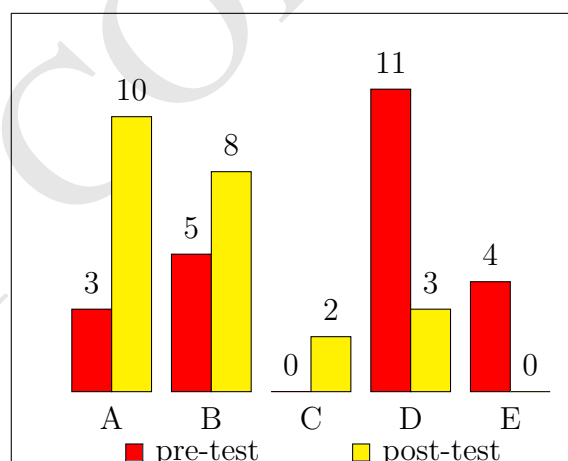
Opgave 1

Goede antwoord: C
 Score pre-test: 4%
 Score post-test: 65%



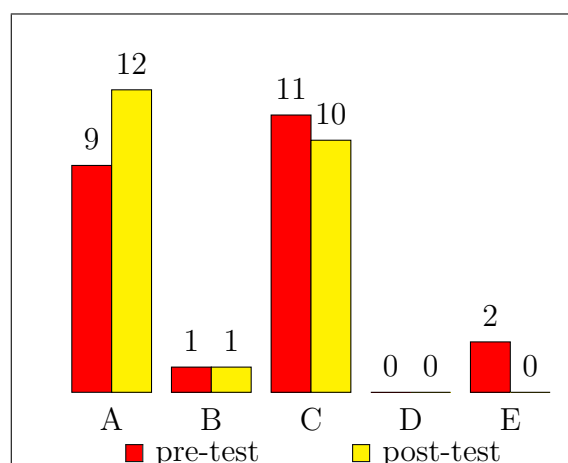
Opgave 2

Goede antwoord: A
 Score pre-test: 13%
 Score post-test: 43%



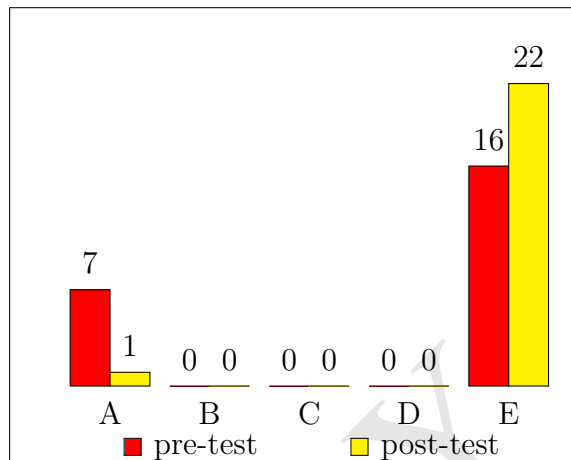
Opgave 3

Goede antwoord: C
 Score pre-test: 48%
 Score post-test: 43%



Opgave 4

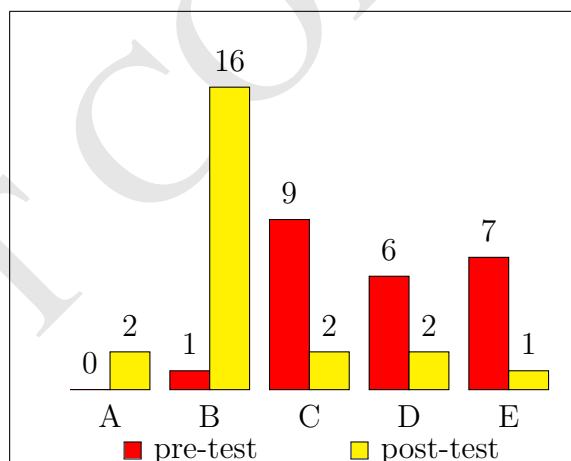
Goede antwoord: E
Score pre-test: 70%
Score post-test: 96%



Opgave 5

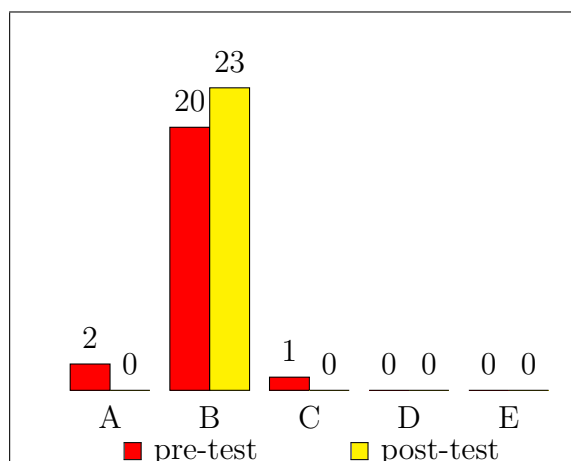
Goede antwoord: B
Score pre-test: 4%
Score post-test: 70%

Bij de antwoorden C, D en E is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



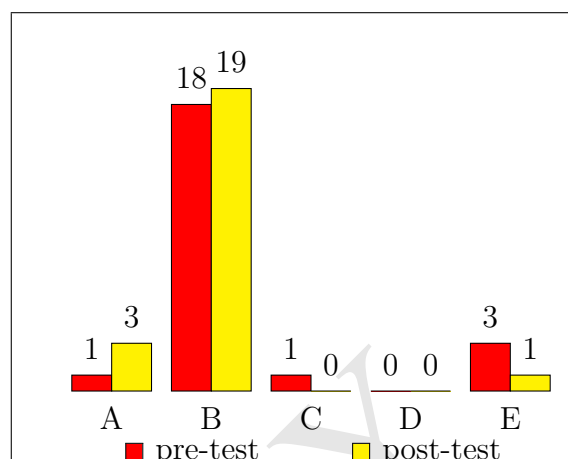
Opgave 6

Goede antwoord: B
Score pre-test: 87%
Score post-test: 100%



Opgave 7

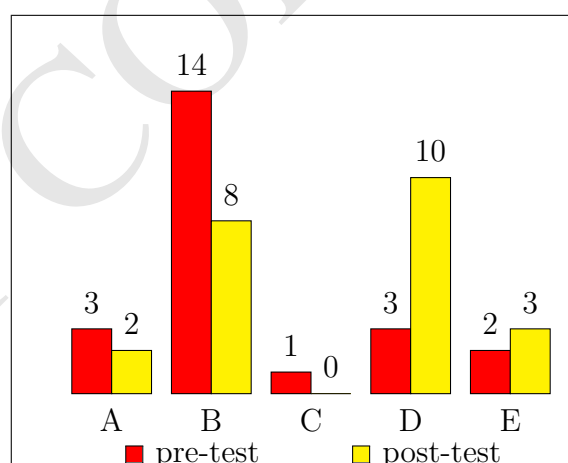
Goede antwoord: **B**
 Score pre-test: **78%**
 Score post-test: **83%**



Opgave 8

Goede antwoord: **B**
 Score pre-test: **61%**
 Score post-test: **35%**

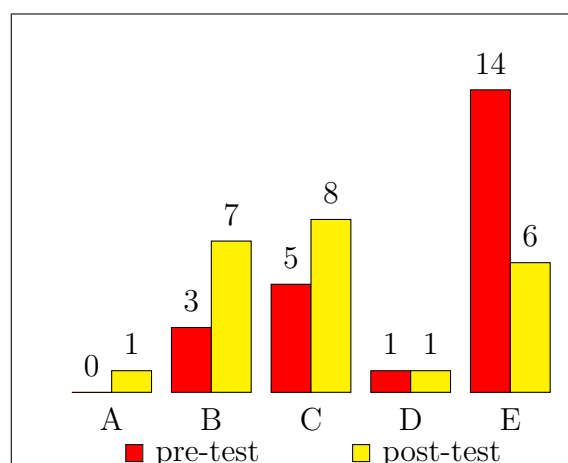
Bij deze opgave is een flinke achteruitgang te zien in score (zie paragraaf 4.2).



Opgave 9

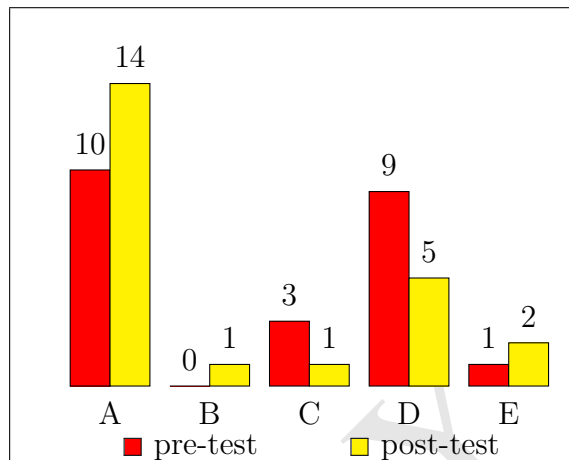
Goede antwoord: **E**
 Score pre-test: **61%**
 Score post-test: **26%**

Bij deze opgave is een flinke achteruitgang te zien in score (zie paragraaf 4.2).



Opgave 10

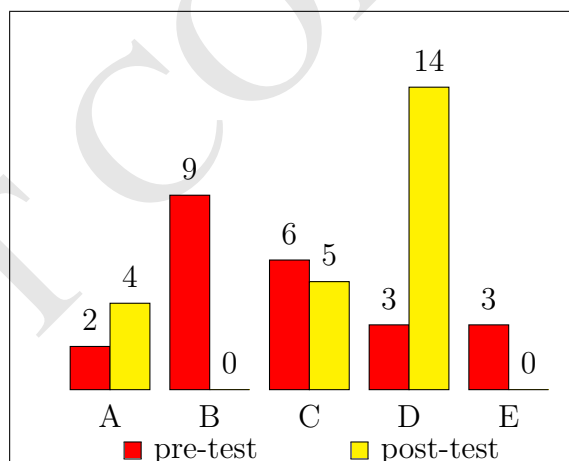
Goede antwoord: A
 Score pre-test: 43%
 Score post-test: 61%



Opgave 11

Goede antwoord: D
 Score pre-test: 13%
 Score post-test: 61%

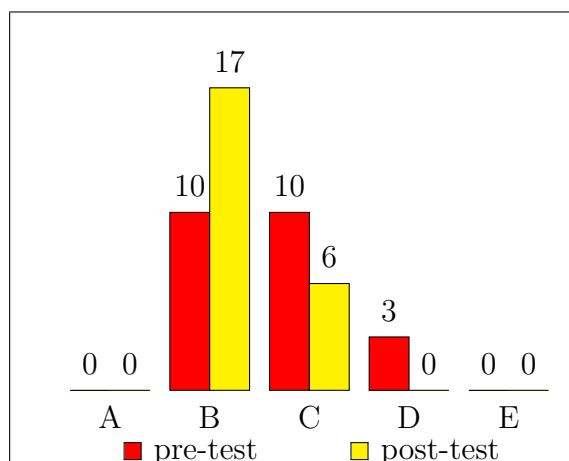
Bij de antwoorden B en C is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



Opgave 12

Goede antwoord: B
 Score pre-test: 43%
 Score post-test: 74%

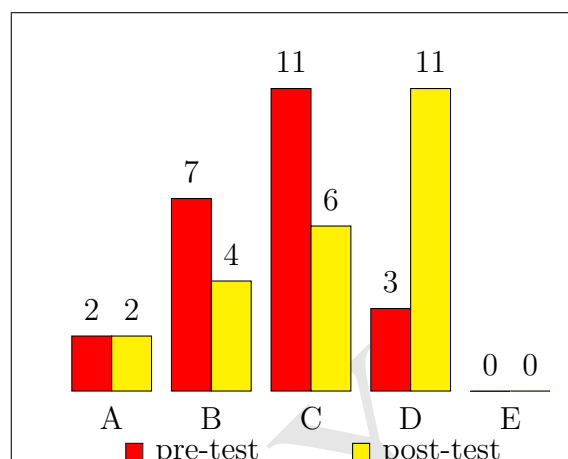
Bij de antwoorden C en D is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



Opgave 13

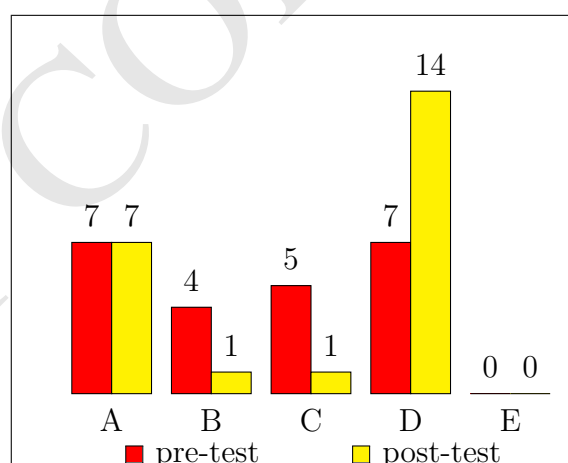
Goede antwoord: D
 Score pre-test: 13%
 Score post-test: 48%

Bij de antwoorden A, B en C is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



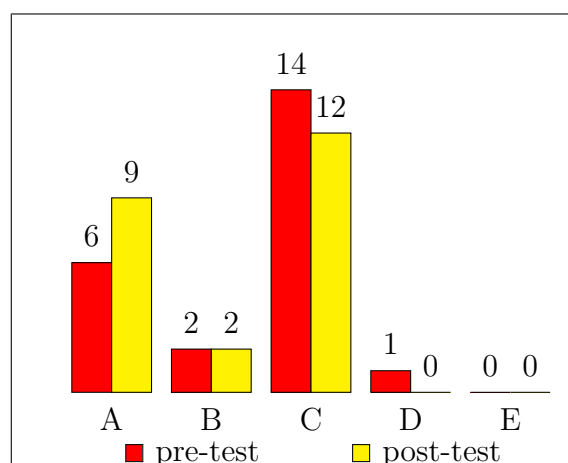
Opgave 14

Goede antwoord: D
 Score pre-test: 30%
 Score post-test: 61%



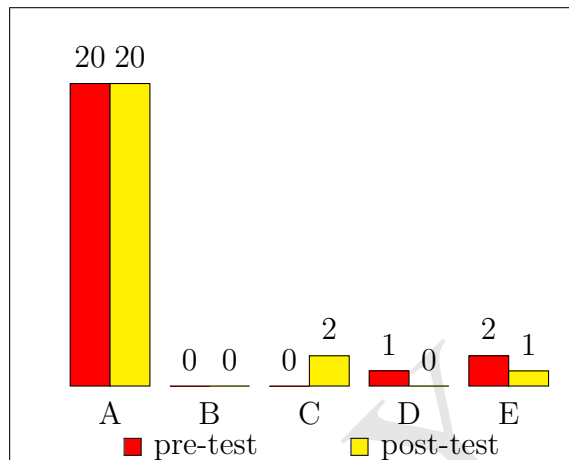
Opgave 15

Goede antwoord: A
 Score pre-test: 26%
 Score post-test: 39%



Opgave 16

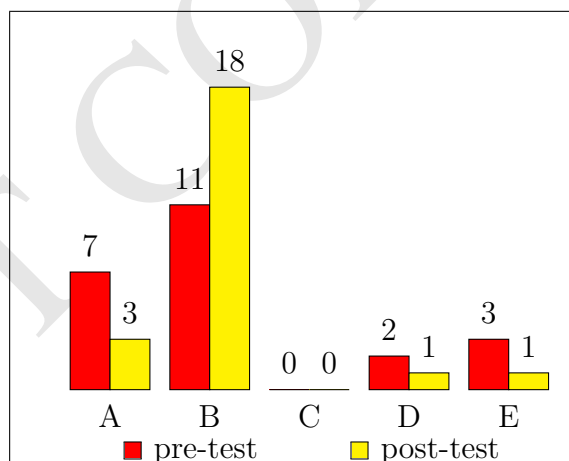
Goede antwoord: A
 Score pre-test: 87%
 Score post-test: 87%



Opgave 17

Goede antwoord: B
 Score pre-test: 48%
 Score post-test: 78%

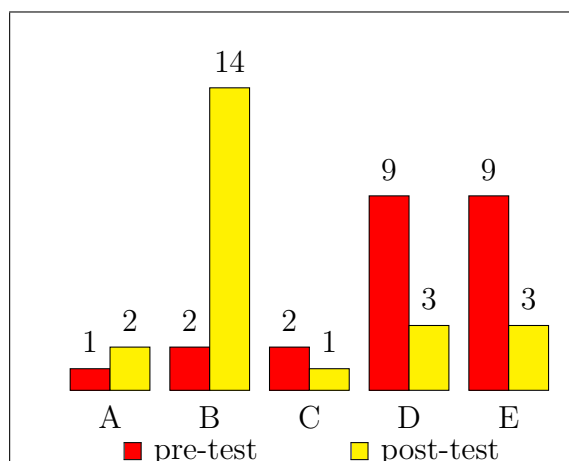
Bij de antwoorden A en D is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



Opgave 18

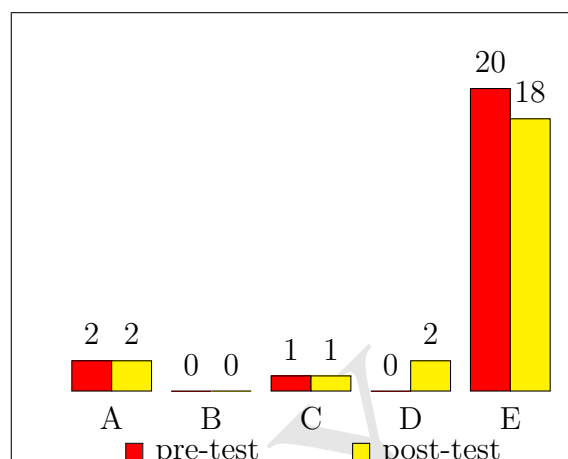
Goede antwoord: B
 Score pre-test: 9%
 Score post-test: 61%

Bij de antwoorden C, D en E is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



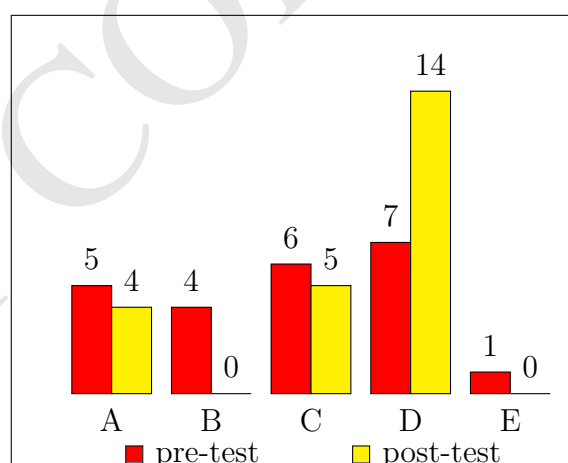
Opgave 19

Goede antwoord: E
Score pre-test: 87%
Score post-test: 78%



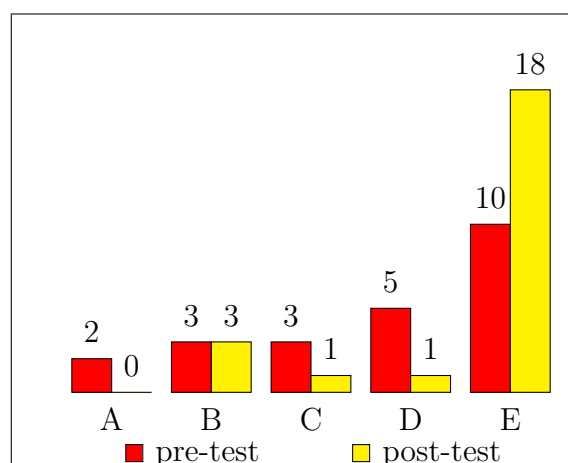
Opgave 20

Goede antwoord: D
Score pre-test: 30%
Score post-test: 61%



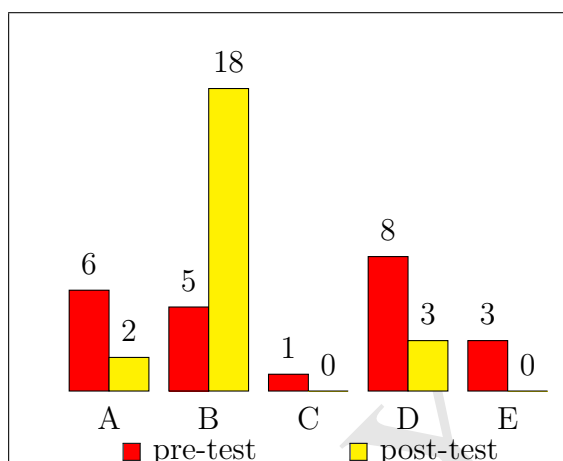
Opgave 21

Goede antwoord: E
Score pre-test: 43%
Score post-test: 78%



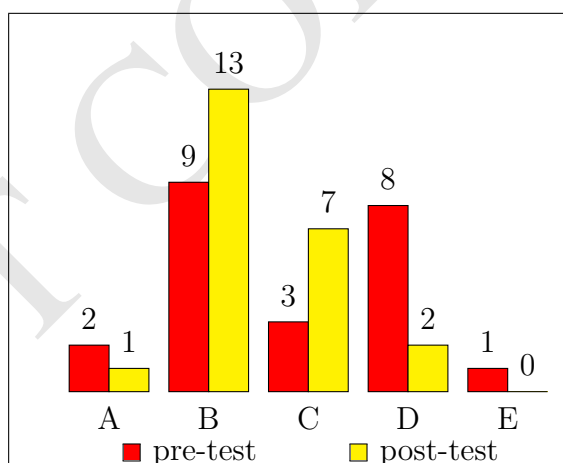
Opgave 22

Goede antwoord: B
Score pre-test: 22%
Score post-test: 78%



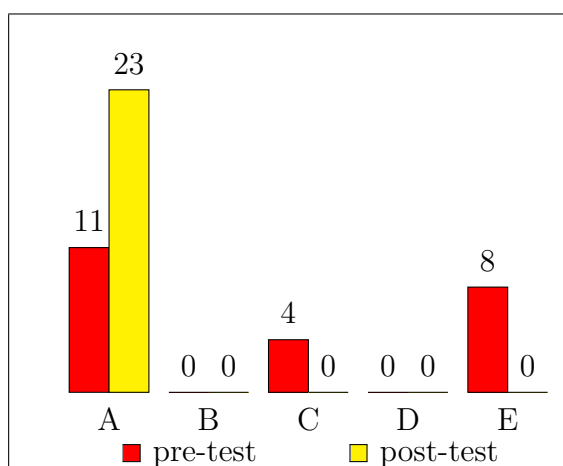
Opgave 23

Goede antwoord: B
Score pre-test: 39%
Score post-test: 57%



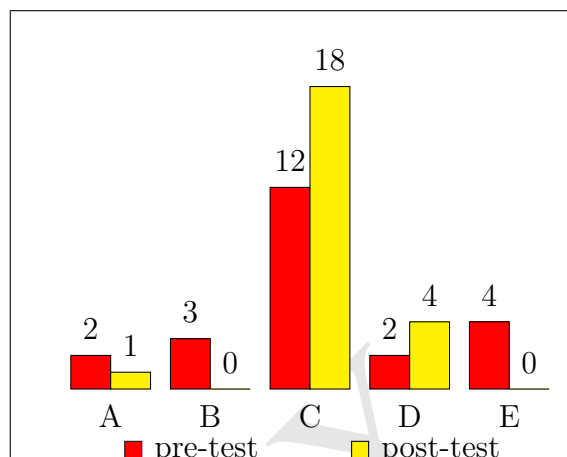
Opgave 24

Goede antwoord: A
Score pre-test: 48%
Score post-test: 100%



Opgave 25

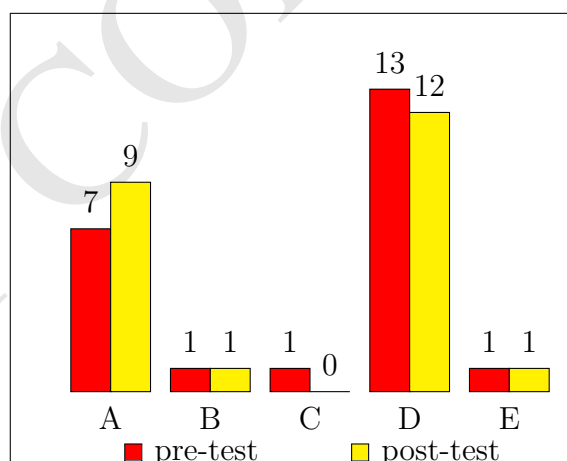
Goede antwoord: C
 Score pre-test: 52%
 Score post-test: 78%



Opgave 26

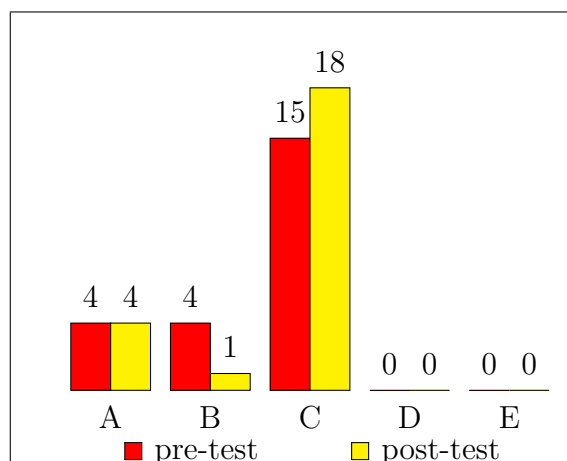
Goede antwoord: D
 Score pre-test: 57%
 Score post-test: 52%

Het officiële antwoord is antwoord E.
 Zie opmerking in paragraaf 4.1.



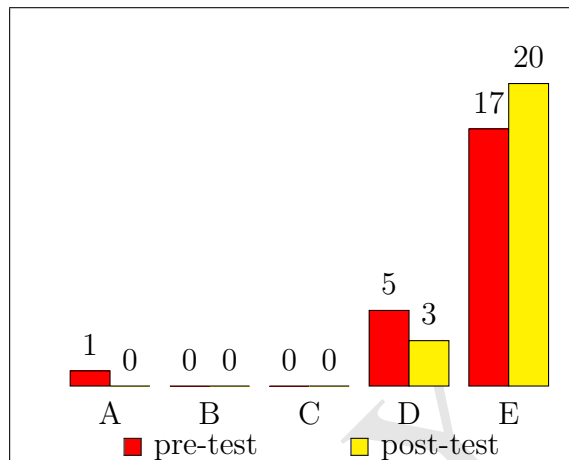
Opgave 27

Goede antwoord: C
 Score pre-test: 65%
 Score post-test: 78%



Opgave 28

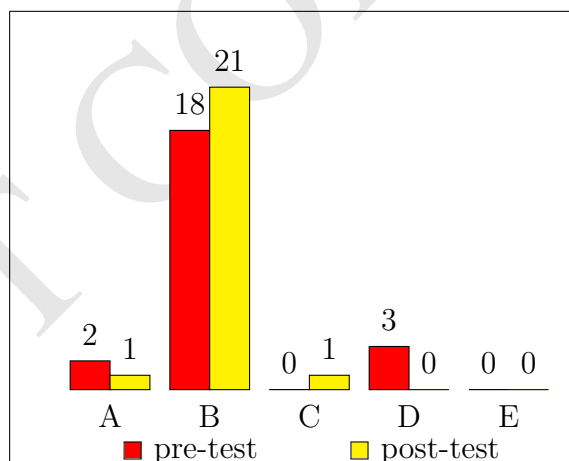
Goede antwoord: E
Score pre-test: 74%
Score post-test: 87%



Opgave 29

Goede antwoord: B
Score pre-test: 78%
Score post-test: 91%

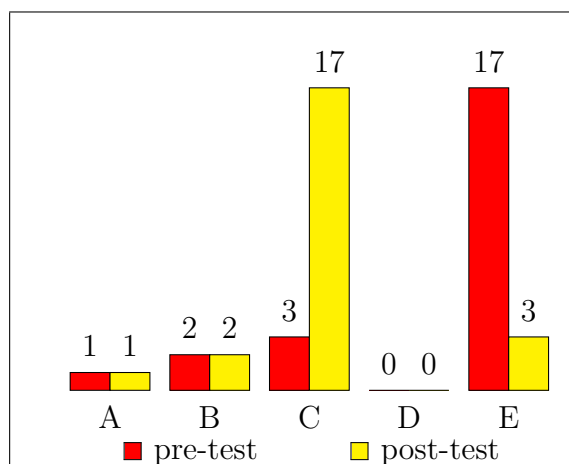
Zie opmerking in paragraaf 4.1.



Opgave 30

Goede antwoord: C
Score pre-test: 13%
Score post-test: 74%

Bij de antwoorden B en E is er sprake van een beweegkracht (zie paragraaf 4.2).



naam:

	helemaal niet mee eens	niet mee eens	neutraal	mee eens	helemaal mee eens
Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om de stof beter te begrijpen, in vergelijking met normale lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om de onderliggende concepten van opgaven te begrijpen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik ben meer actief betrokken bij lessen met stemkastjes, in vergelijking met normale lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik moet in lessen met stemkastjes meer nadenken, in vergelijking met normale lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Bij lessen met stemkastjes besteed ik minder uren aan het vak buiten de college-uren, in vergelijking met normale lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Ik onthoud minder na een les met stemkastjes dan na andere lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
Het discussiëren met andere leerlingen tijdens de les helpt mij om de stof beter te begrijpen.	☐	☐	☐	☐	☐
Uitleg van andere leerlingen in 'n eigen woorden, als we in kleine groepjes discussiëren, helpt mij de stof beter te begrijpen.	☐	☐	☐	☐	☐
Het is belangrijk dat de leraar aan het einde van de discussie in kleine groepjes, duidelijk uitlegt wat het goede antwoord was en waarom.	☐	☐	☐	☐	☐
Weten hoe wel andere leerlingen het antwoord op een ConceptTest goed hadden is goed voor mijn zelfvertrouwen.	☐	☐	☐	☐	☐
Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om mijn aandacht bij de les te houden.	☐	☐	☐	☐	☐
Het gebruik van de stemkastjes (bij lessen mechanica) maakt de les leuker voor mij, in vergelijking met normale lessen.	☐	☐	☐	☐	☐
De stemkastjes zouden ook gebruikt moeten worden voor andere onderwerpen.	☐	☐	☐	☐	☐
De stemkastjes helpen de leraar om beter inzicht te krijgen in de problemen die de leerlingen hebben met de stof.	☐	☐	☐	☐	☐

Appendix D: Leerling enquête

	helemaal niet mee eens	niet mee eens	neutraal	mee eens	helemaal mee eens
Bij sommige hoofdstukken is de normale manier van lesgeven beter.	☐	☐	☐	☐	☐
Bij alle hoofdstukken zou op zijn minst en gedeelte van de uitleg met de stemkastjes gedaan moeten worden.	☐	☐	☐	☐	☐
De stemkastjes moeten bij zoveel mogelijk hoofdstukken gebruikt worden.	☐	☐	☐	☐	☐

Welke verhouding heeft jouw voorkeur? (percentage van het college-uur)

- ☐ 100% van de uitleg m.b.v. de stemkastjes en geen normale uitleg
- ☐ ongeveer 75% van de uitleg m.b.v. de stemkastjes en 25% normale uitleg
- ☐ ongeveer 50% van de uitleg m.b.v. de stemkastjes en 50% normale uitleg
- ☐ ongeveer 25% van de uitleg m.b.v. de stemkastjes en 75% normale uitleg
- ☐ geen uitleg m.b.v. de stemkastjes, alle uitleg op de normale manier

Wat vind je goed aan deze lessen?

Wat vind je niet goed aan deze lessen?

Wat zou je verbeterd willen zien?

Overige opmerkingen

Appendix E: Resultaten leerling enquête

Tabel 11: Vragen van de enquête met antwoord van de klas. De letters bij iedere vraag corresponderen met de letters uit tabel 12. De antwoorden zijn op basis van de mediaan van de hele klas.

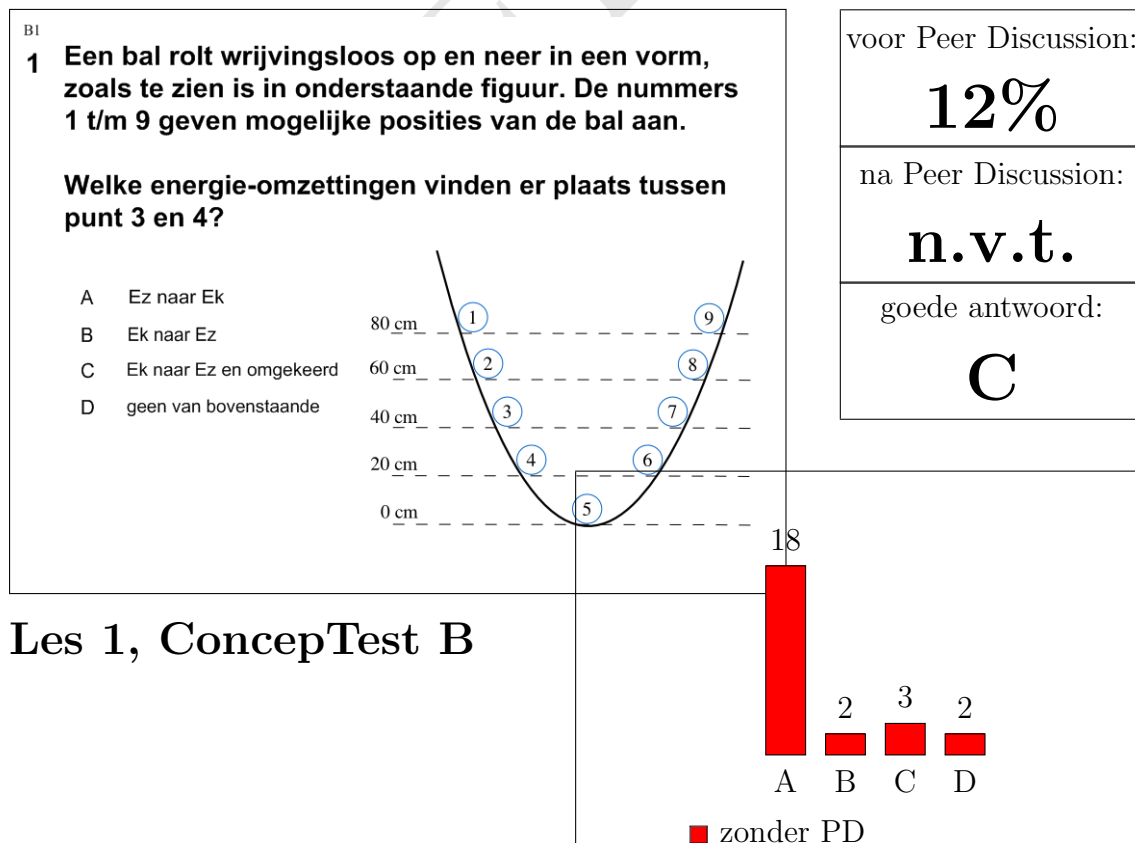
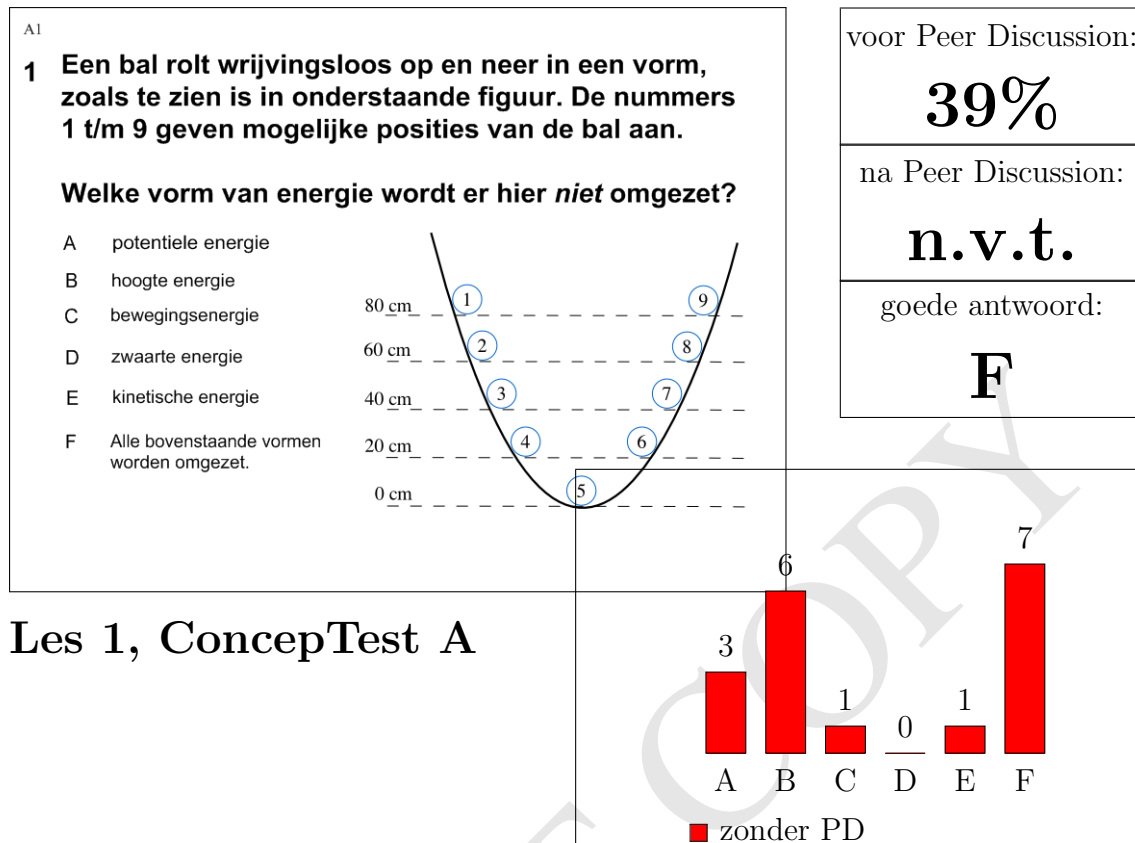
	vraag	antwoord
A	Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om de stof beter te begrijpen, in vergelijking met normale lessen.	mee eens
B	Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om de onderliggende concepten van opgaven te begrijpen.	mee eens
C	Ik ben meer actief betrokken bij lessen met stemkastjes, in vergelijking met normale lessen.	mee eens
D	Ik moet in lessen met stemkastjes meer nadenken, in vergelijking met normale lessen.	neutraal
E	Bij lessen met stemkastjes besteed ik minder uren aan het vak buiten de college-uren, in vergelijking met normale lessen.	niet mee eens
F	Ik onthoud minder na een les met stemkastjes dan na andere lessen.	niet mee eens
G	Het discussiëren met andere leerlingen tijdens de les helpt mij om de stof beter te begrijpen.	mee eens
H	Uitleg van andere leerlingen in hun eigen woorden, als we in kleine groepjes discussiëren, helpt mij de stof beter te begrijpen.	mee eens
I	Het is belangrijk dat de leraar, aan het einde van de discussie in kleine groepjes, duidelijk uitlegt wat het goede antwoord was en waarom.	helemaal mee eens
J	Weten hoeveel andere leerlingen het antwoord op een ConceptTest goed hadden is goed voor mijn zelfvertrouwen.	neutraal
K	Het gebruik van de stemkastjes helpt mij om mijn aandacht bij de les te houden.	mee eens
L	Het gebruik van de stemkastjes (bij lessen mechanica) maakt de les leuker voor mij, in vergelijking met normale lessen.	mee eens
M	De stemkastjes zouden ook gebruikt moeten worden voor andere onderwerpen.	mee eens
N	De stemkastjes helpen de leraar om beter inzicht te krijgen in de problemen die de leerlingen hebben met de stof.	mee eens
O	Bij sommige hoofdstukken is de normale manier van lesgeven beter.	neutraal
P	Bij alle hoofdstukken zou op zijn minst en gedeelte van de uitleg met de stemkastjes gedaan moeten worden.	mee eens
Q	De stemkastjes moeten bij zoveel mogelijk hoofdstukken gebruikt worden.	mee eens
R	Welke verhouding heeft jouw voorkeur? (percentage van het college-uur)	n.v.t.

Appendix E: Resultaten leerling enquête

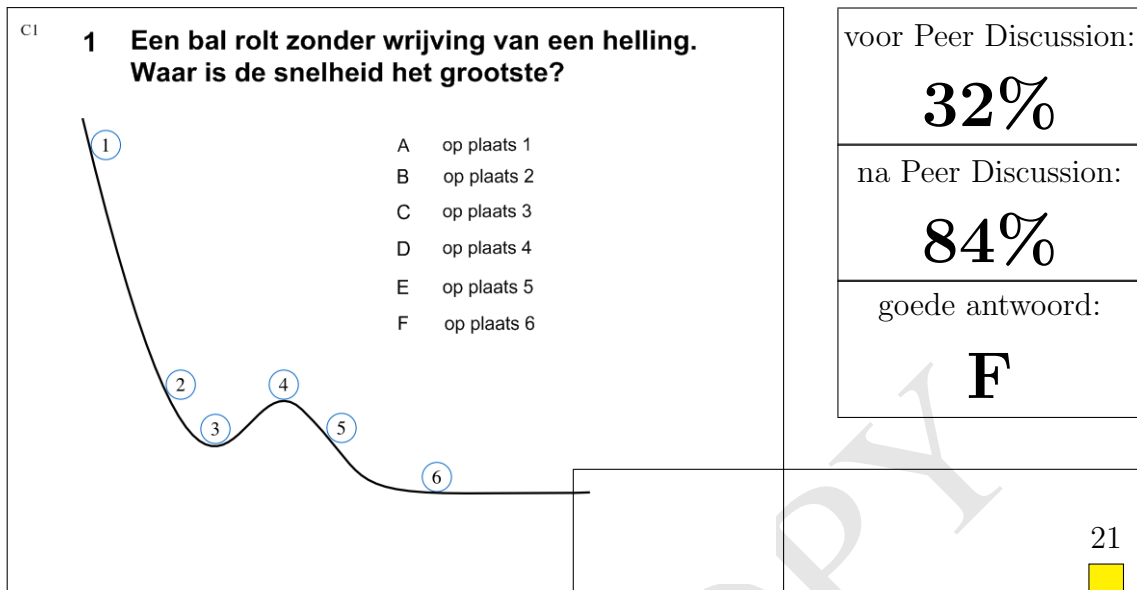
Tabel 12: Antwoorden op de leerling enquête uitgesplitst per leerling. De letters corresponderen met een vraag (zie tabel 11). Verklaring cijfers: [1] helemaal niet mee eens, [2] niet mee eens, [3] neutraal, [4] mee eens, [5] helemaal mee eens. De halve cijfers komen omdat die leerlingen meerdere schalen hadden aangekruist.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
lln01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
lln02	2	3	4	4	3	2	3	2	4	3	4	4	3	2	4	3	2	3
lln03	4	5	3	4	2	2	4	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3
lln04	4	3	4	4	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	2
lln05	4	4	4	4	5	1	4	4	5	4	3	4	4	4	3	4	4	2
lln06	4	3	3	4	2	1	2	3	4	2	3	4	4	5	2	4	4	3.5
lln07	4.5	4	3	3	2	3	2	2	4.5	3	3	4.5	4	3	3	3	4	3
lln08	4	3	4	3	3	2	2	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	2
lln09	5	4	4	5	2	1	4	4	5	2.5	4	4	5	5	2	4	4	1.5
lln10	5	4	4	5	1	2	4	5	5	3	4	4	5	4	2	3	4	2.5
lln11	4	4	5	3	3	2	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3
lln12	4	4	5	4	4	1	5	5	4	3	4	5	4	3	3	5	4	3
lln13	4	4	4	2	1	1	4	4	4	2	4	4	3.5	4	2	4	4	3
lln14	4	4	3	2	2	2	4	4	5	3	4	4	4	4	4	4	4	3
lln15	4	2	4	4	1	2	4	4	5	3	4	4	5	3	3	5	3	3
lln16	4	4	4	3	4	2	3	4	4	1	3	5	4	4	3	5	5	2
lln17	4	4	4	2	2	2	2	2	4	2	4	4	4	4	3	4	2	3
lln18	4	4	5	2	4	1	5	5	5	4	3	5	5	5	4	5	3	2
lln19	5	4	3	3	3	2	4	4	5	3	3	4	4	4	3	5	4	3
lln20	4	4	5	3	2	2	4	4	4	4	5	5	5	5	3	4	5	2
lln21	3	2	4	2	1	2	5	5	5	4	3	3	4	4	4	5	4	4
lln22	4	4	4	3	2	2	3	4	4	3	4	4	5	5	2	5	5	3
lln23	4	2	4	2	2	5	4	3	5	2	5	4	4	2	3	4	4	3
lln24	3	5	5	5	3	1	2	2	5	4	4	5	4	3	4	4	3	2
lln25	2	3	4	4	3	2	3	3	5	1	2	3	3	2	5	3	3	3

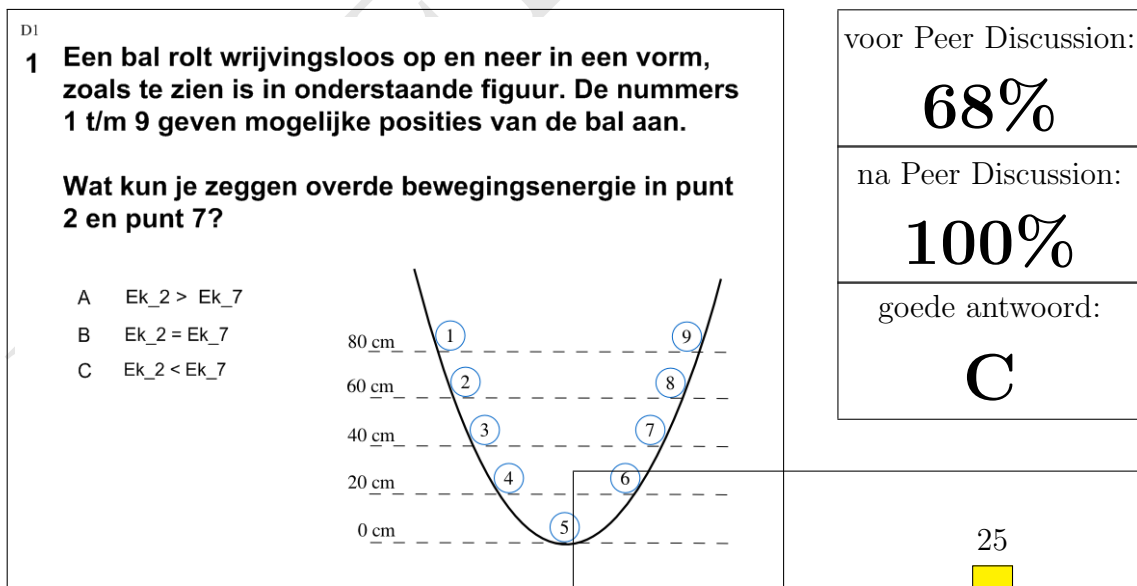
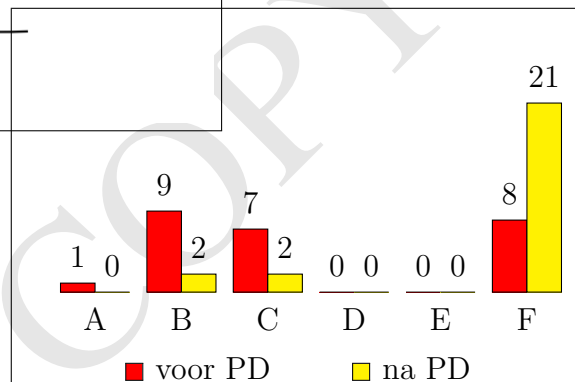
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



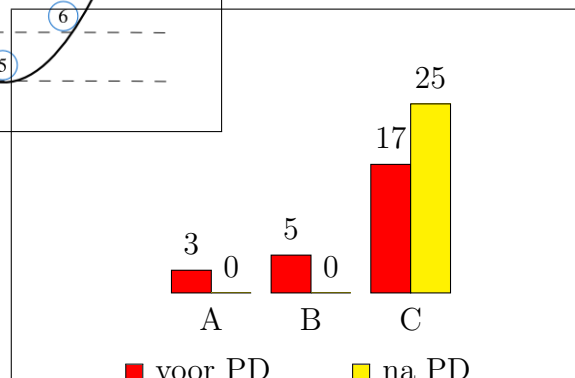
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



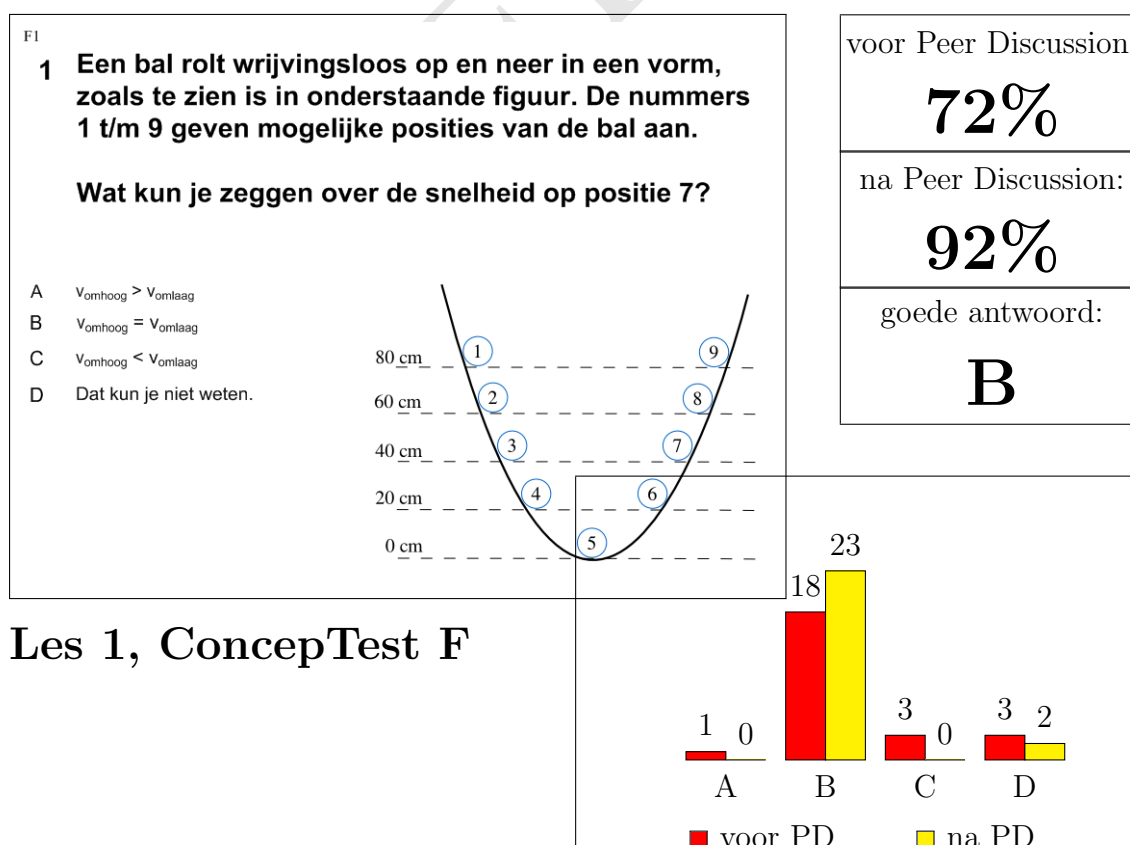
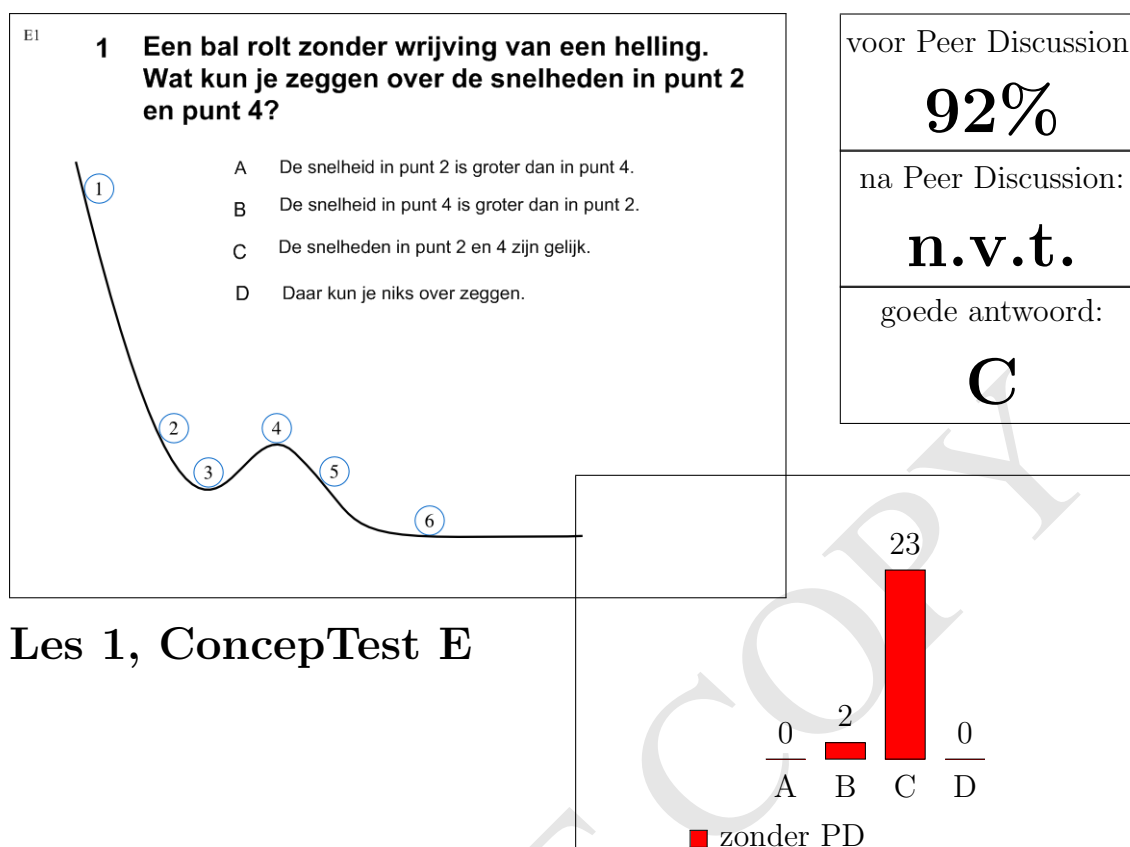
Les 1, ConcepTest C



Les 1, ConcepTest D



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

G1

1 Een speelgoedgeweer met een "geladen" veer schiet een pijltje 24 meter recht omhoog. Hoe hoog komt de pijl als de veer maar voor de helft was samengedrukt? Verwaarloos de luchtweerstand.

A 96 meter.
B 48 meter.
C 24 meter.
D 12 meter.
E 6 meter.
F 3 meter.
G Dat kun je niet weten.

voor Peer Discussion:

48%

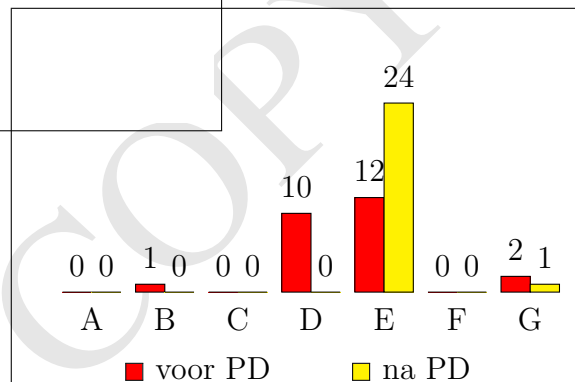
na Peer Discussion:

96%

goede antwoord:

E

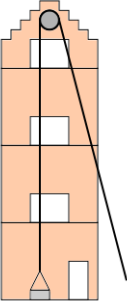
Les 1, ConcepTest G



A1

1 Een lading meloenen wordt naar de eerste verdieping van een pakhuis gehesen.

Hoeveel meer arbeid zou het kosten om de meloenen naar de tweede verdieping te hijsen?



A $\sqrt{2}$ keer zo veel
B 2 keer zo veel
C 4 keer zo veel

voor Peer Discussion:

68%

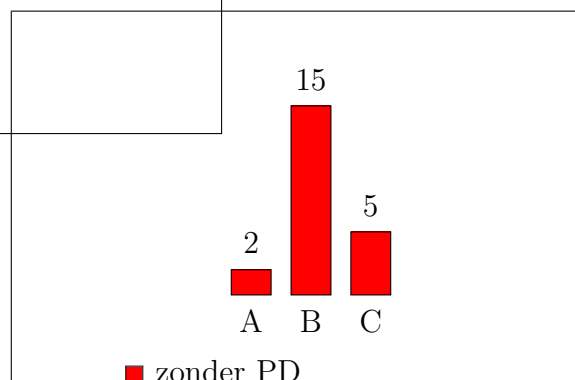
na Peer Discussion:

n.v.t.

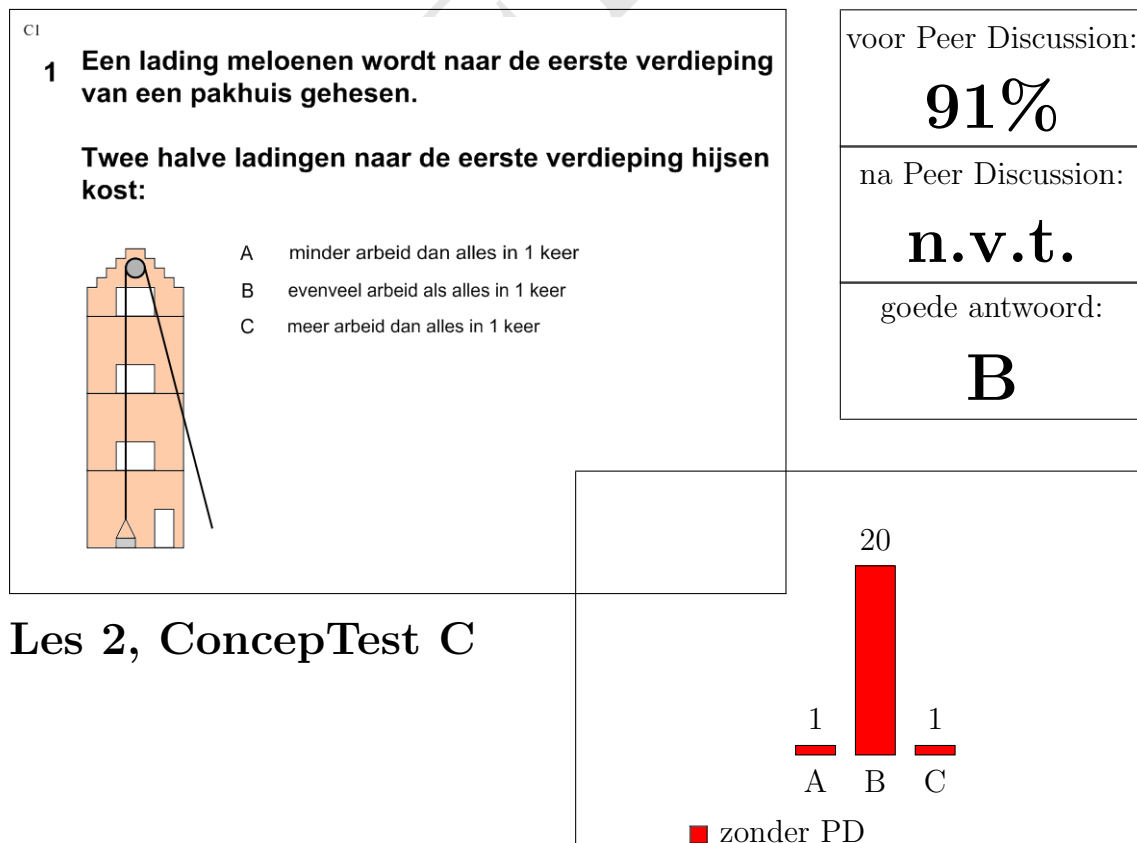
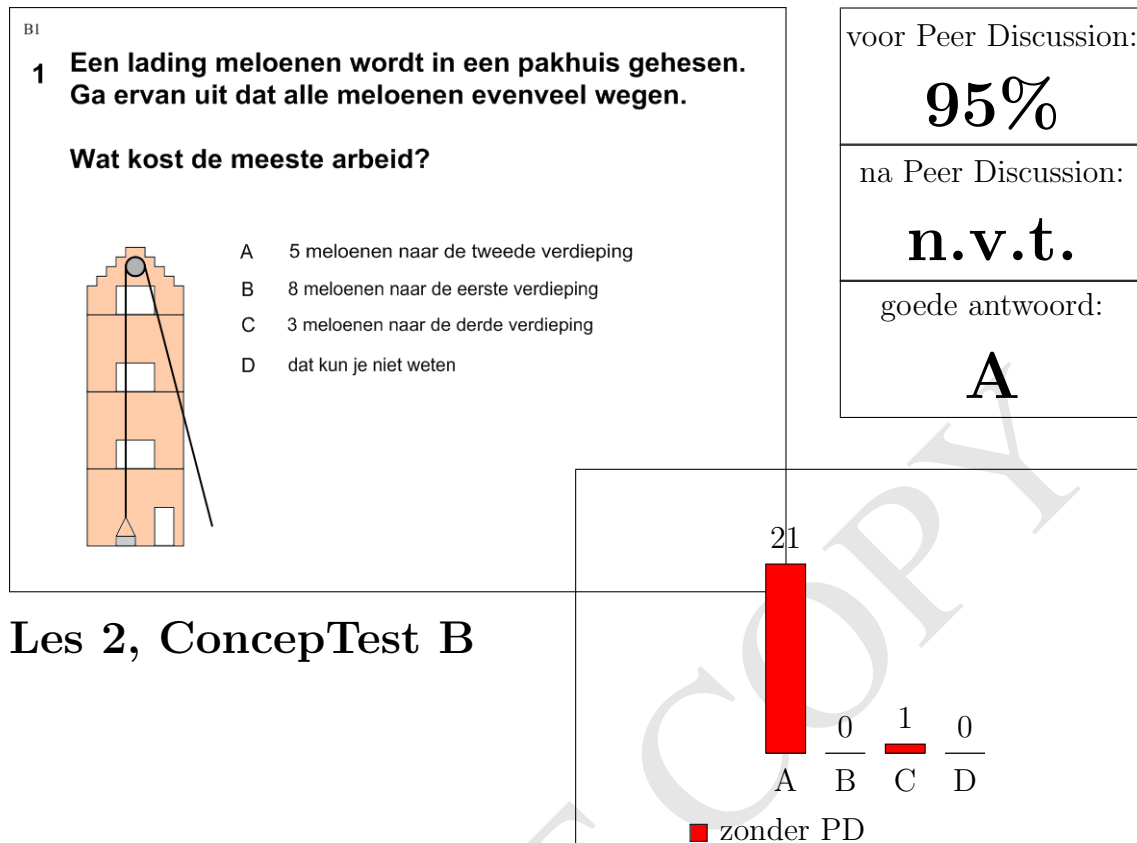
goede antwoord:

B

Les 2, ConcepTest A



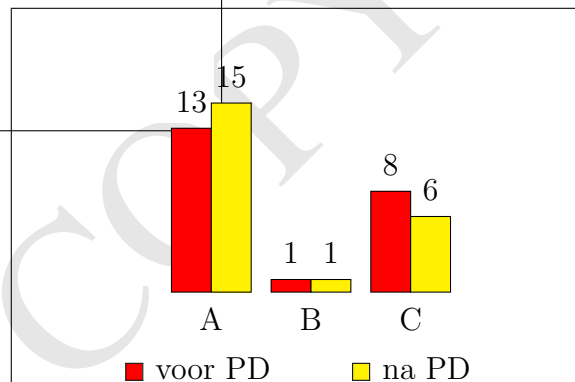
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

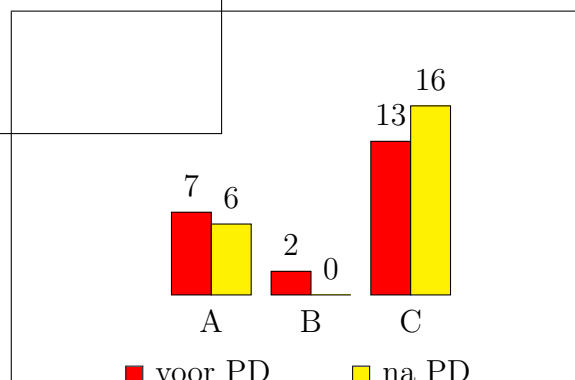
DI 1 Twee stalen ballen vallen van dezelfde hoogte op de grond. De ene bal is twee maal zo zwaar als de andere. Op welke bal is de meeste arbeid verricht tijdens de val? A de zwaardere B de lichtere C allebei evenveel	voor Peer Discussion:
	59%
	na Peer Discussion:
	68%
	goede antwoord:
	A

Les 2, ConcepTest D



EI 1 Twee stalen ballen rollen wrijvingsloos dezelfde afstand over een horizontaal oppervlak. De ene bal is twee maal zo zwaar als de andere. Op welke bal is de meeste arbeid verricht door de zwaartekracht? A de zwaardere B de lichtere C allebei evenveel	voor Peer Discussion:
	59%
	na Peer Discussion:
	73%
	goede antwoord:
	C

Les 2, ConcepTest E



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

F1

1 Een karretje rijdt onder invloed van de zwaartekracht langs een helling naar beneden over een afstand van 1 meter.

De zwaartekracht trekt met 200 N aan het karretje.

Hoe groot is de arbeid gedaan door de zwaartekracht?

- A kleiner dan 200 J
- B ongeveer gelijk aan 200 J
- C groter dan 200 J
- D dat kun je niet weten

voor Peer Discussion:

27%

na Peer Discussion:

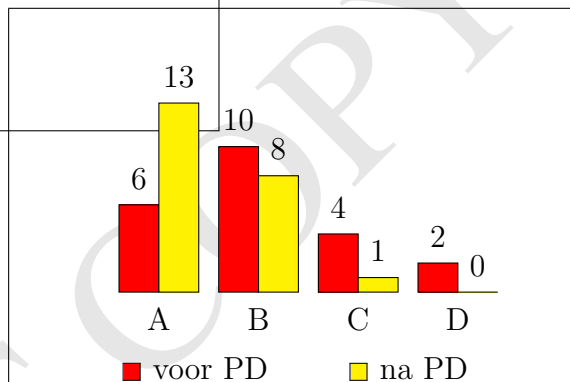
59%

goede antwoord:

A

Les 2, ConcepTest F

Opvallend: voor *peer discussion* scoort het goede antwoord nauwelijks boven de gokkans. Toch komt de meerderheid uit bij het goede antwoord.

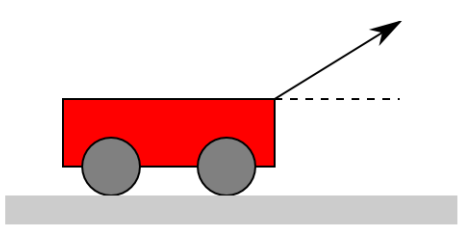


G1

1 Deze kar wordt met een kracht van 50 N (zie pijl) 2 meter vooruit getrokken.

De arbeid die dit kost is:

- A kleiner dan 100 J
- B (ongeveer) gelijk aan 100 J
- C groter dan 100 J
- D dat kun je niet weten



voor Peer Discussion:

45%

na Peer Discussion:

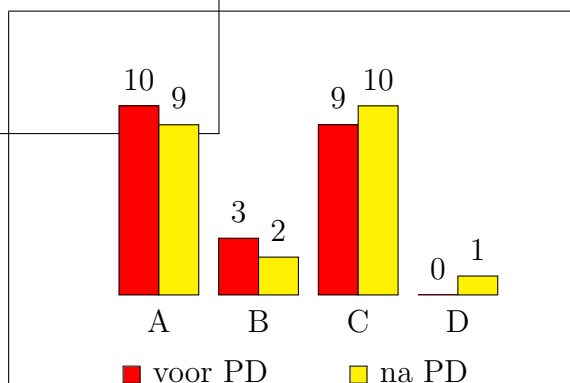
41%

goede antwoord:

A

Les 2, ConcepTest G

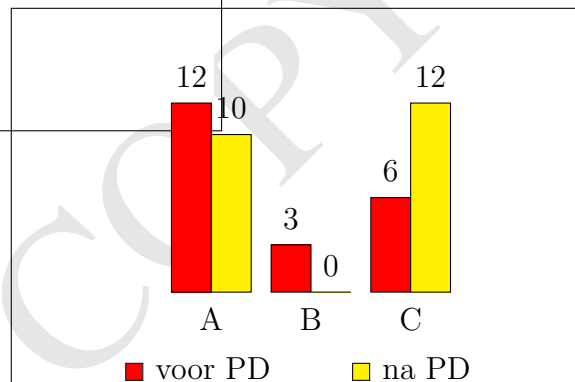
In tegenstelling tot de vorige vraag is de initiële score best aardig. Toch helpt *peer discussion* hier niet.



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

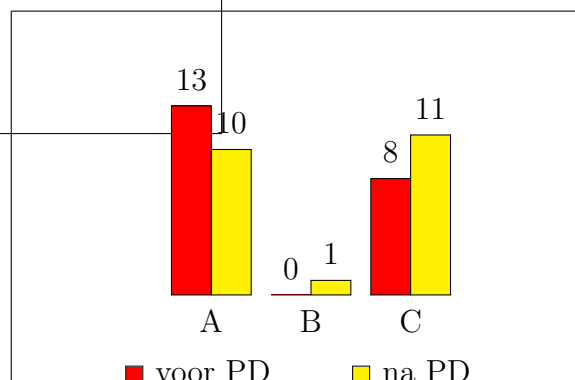
III 1 Een bal van 1 kg valt van een hoogte van 1 meter. De kracht die de bal op de aarde uitoefend is even groot als de kracht die de aarde op de bal uitoefend (derde wet van Newton). De arbeid verricht door de <i>aarde op de bal</i> voordat deze de grond raakt is ongeveer: A 10 J B -10 J C 0 J	voor Peer Discussion: 57% na Peer Discussion: 45% goede antwoord: A
--	--

Les 2, ConcepTest H

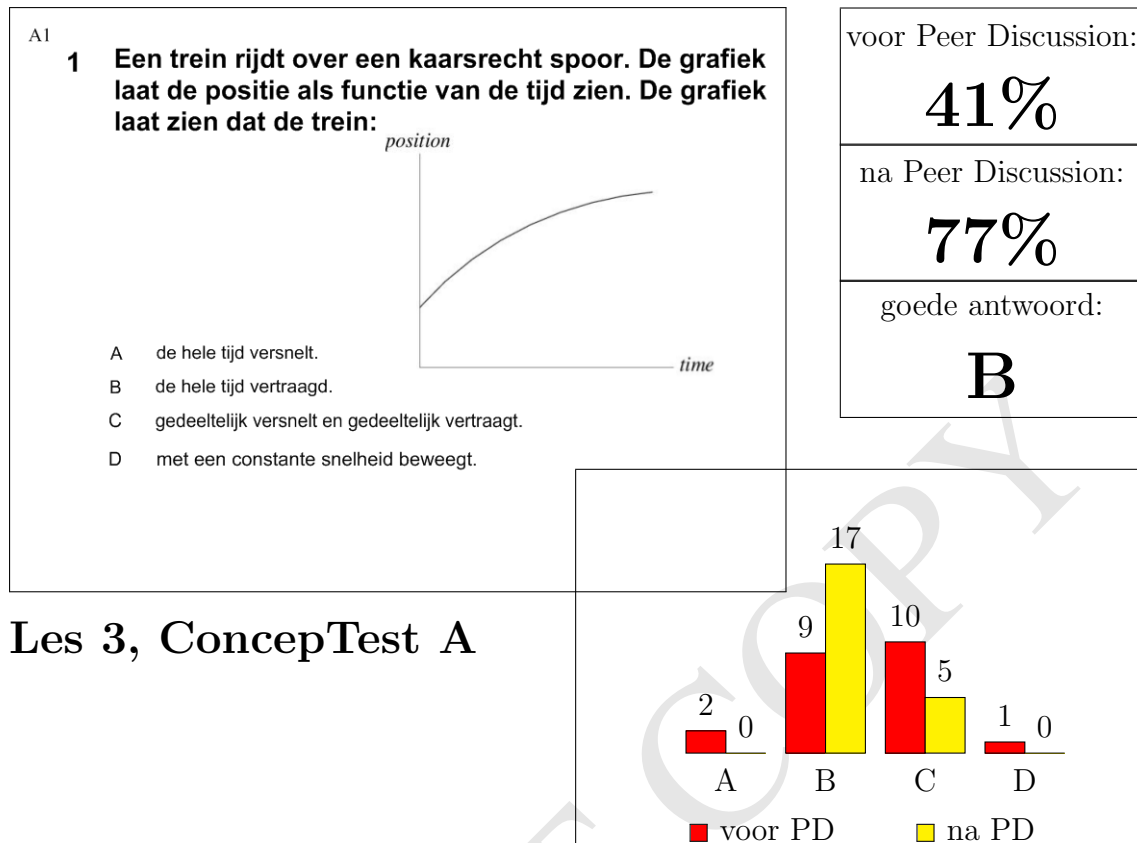


II 1 Een bal van 1 kg valt van een hoogte van 1 meter. De kracht die de bal op de aarde uitoefend is even groot als de kracht die de aarde op de bal uitoefend (derde wet van Newton). De arbeid verricht door de <i>bal op de aarde</i> voordat de bal de grond raakt is ongeveer: A 10 J B -10 J C 0 J	voor Peer Discussion: 38% na Peer Discussion: 50% goede antwoord: C
---	--

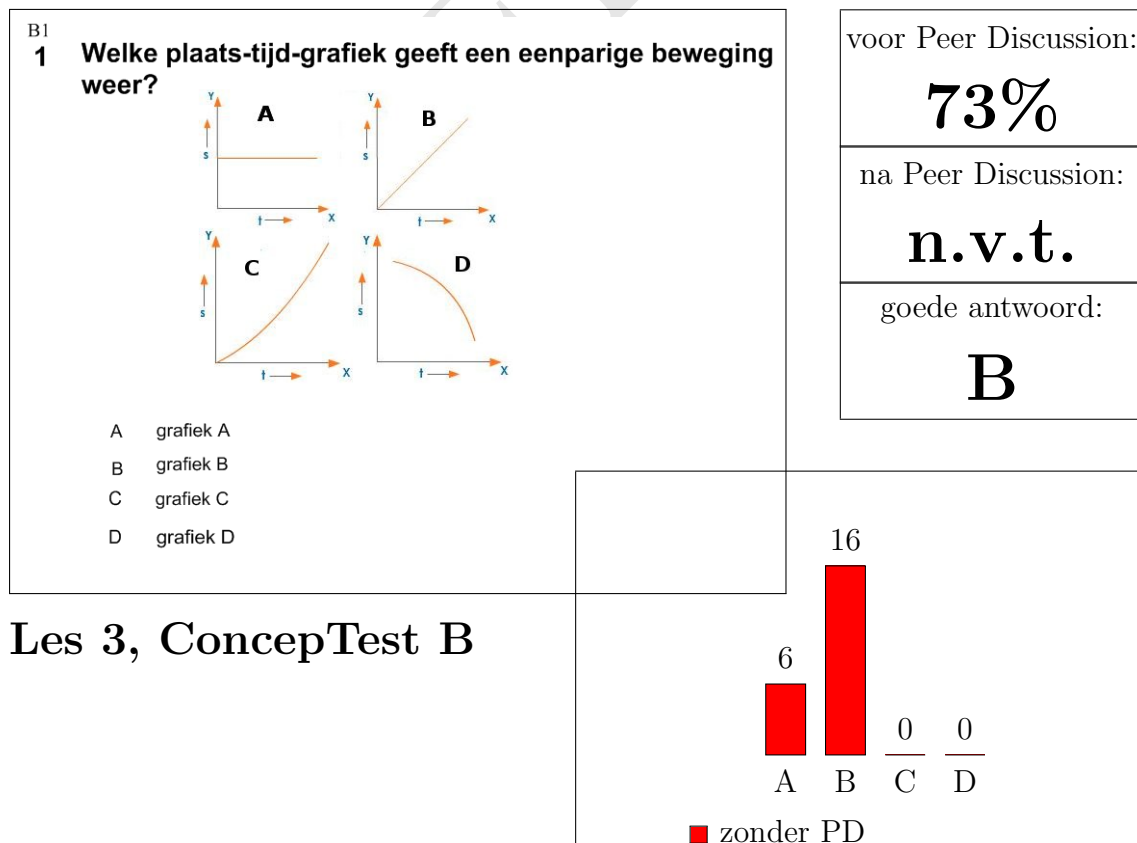
Les 2, ConcepTest I



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Les 3, ConcepTest A

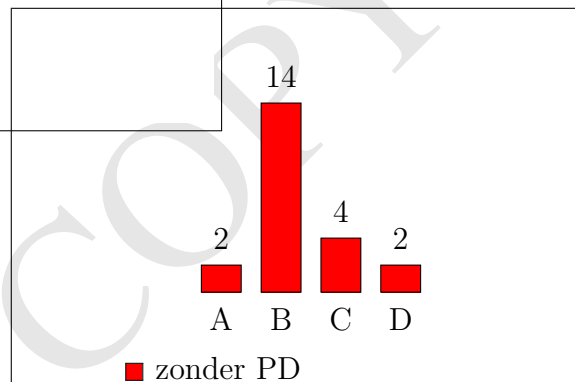


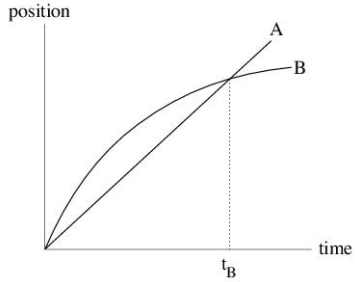
Les 3, ConcepTest B

Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

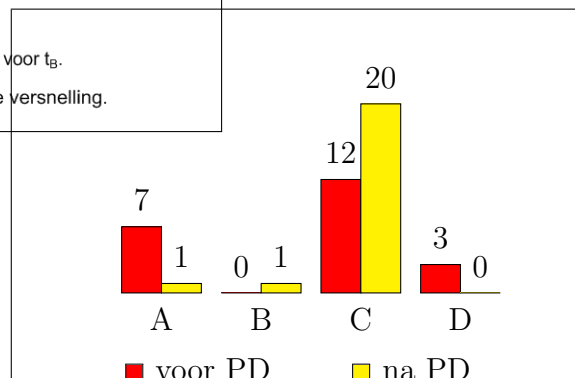
C1 1 De oppervlakte onder een snelheid-tijd-grafiek geeft de: A plaats B verplaatsing C snelheid D versnelling	voor Peer Discussion: 64% na Peer Discussion: n.v.t. goede antwoord: B
--	---

Les 3, ConcepTest C



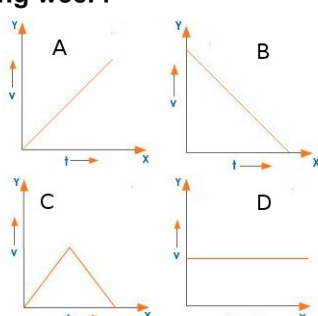
D1 1 De grafiek laat de plaats-tijd grafiek zien voor twee treinen die op parallelle sporen rijden. Wat is waar?  A Op tijd t_B hebben beide treinen dezelfde snelheid. B Beide treinen versnellen de hele tijd. C Beide treinen hebben dezelfde snelheid op een tijdstip voor t_B. D Ergens op de grafiek hebben beide treinen dezelfde versnelling.	voor Peer Discussion: 55% na Peer Discussion: 91% goede antwoord: C
--	--

Les 3, ConcepTest D



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

^{E1} 1 Welke snelheid-tijd-grafiek geeft een eenparige beweging weer?



A grafiek A
B grafiek B
C grafiek C
D grafiek D

voor Peer Discussion:

68%

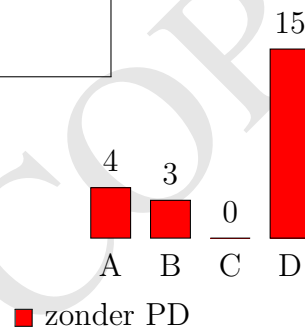
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

D

Les 3, ConcepTest E



^{F1} 1 De helling van een snelheid-tijd-grafiek geeft de:

A plaats
B verplaatsing
C snelheid
D versnelling

voor Peer Discussion:

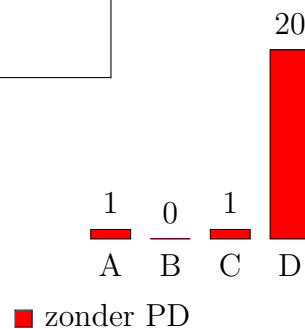
91%

na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

D

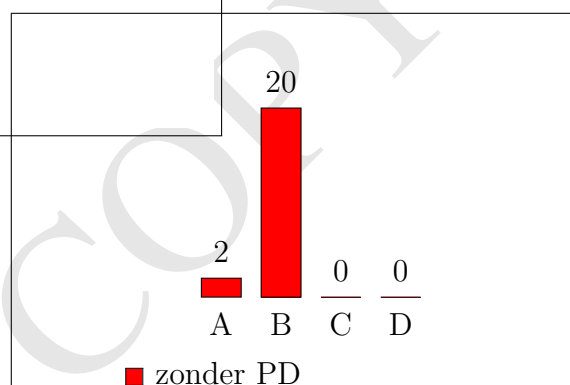


Les 3, ConcepTest F

Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

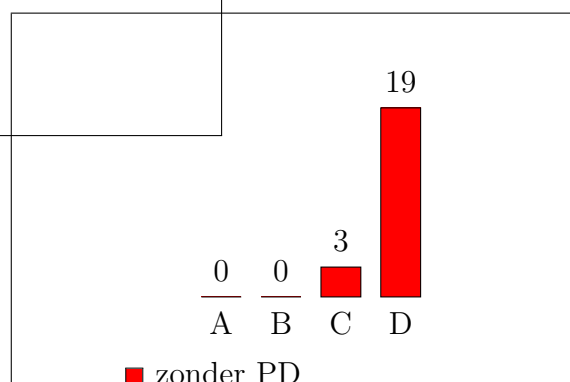
^{GI} 1 Een voorwerp dat met een constante snelheid van 9.81 m/s beweegt, heeft een versnelling van: A 9.81 m/s² B 0 m/s² C 0.981 m/s² D 98.1 m/s²	voor Peer Discussion: 91% na Peer Discussion: n.v.t. goede antwoord: B
---	---

Les 3, ConcepTest G



^{H1} 1 km/h² is een eenheid van: A plaats B verplaatsing C snelheid D versnelling	voor Peer Discussion: 86% na Peer Discussion: n.v.t. goede antwoord: D
--	---

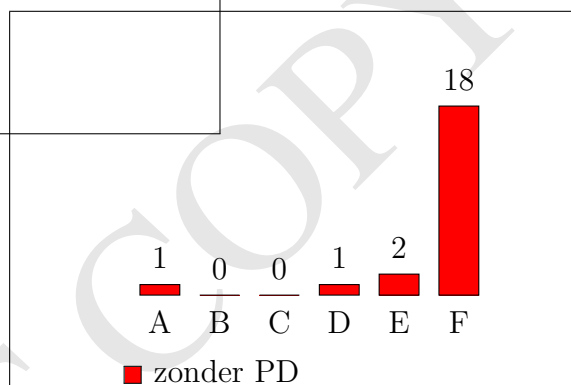
Les 3, ConcepTest H



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

^{II} 1 Een auto met een snelheid van 20 m/s en een versnelling van 4 m/s² heeft na 2 seconden een snelheid van: A 8 m/s B 12 m/s C 16 m/s D 20 m/s E 24 m/s F 28 m/s	voor Peer Discussion: 82% na Peer Discussion: n.v.t. goede antwoord: F
---	--

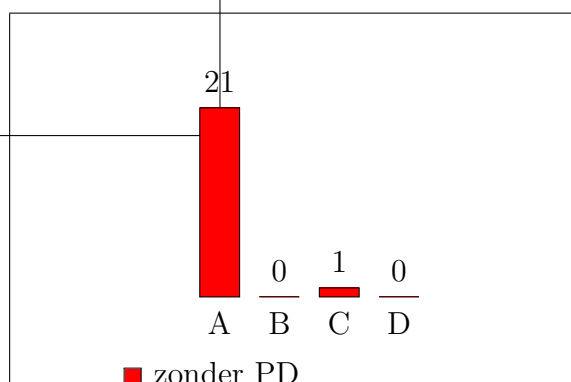
Les 3, ConcepTest I



^{J1} 1 Je gooit een bal recht omhoog. Op het hoogste punt geldt dat: A de snelheid en de versnelling beide nul zijn. B de snelheid niet nul is, maar de versnelling is wel nul. C de snelheid wel is nul, maar de versnelling is niet nul. D de snelheid en de versnelling zijn beide niet nul.	voor Peer Discussion: 5% na Peer Discussion: n.v.t. goede antwoord: C
---	---

Les 3, ConcepTest J

Misconceptie gedetecteerd! Dit vergde veel uitleg op het bord voordat leerlingen dit gingen geloven.



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

^{K1} 1 Je laat twee ballen tegelijkertijd van dezelfde hoogte naar beneden vallen. De ballen zijn even groot, maar de ene bal is twee keer zo zwaar als de andere.

De lichte bal:

- A doet er ongeveer twee keer zo lang over als de zware.
- B doet er langer over dan de zware, maar minder dan twee keer zo lang.
- C doet er even lang over als de zware.
- D is beneden in ongeveer de helft van de tijd van de zware.
- E is beneden in minder dan de helft van de tijd van de zware.

voor Peer Discussion:

32%

na Peer Discussion:

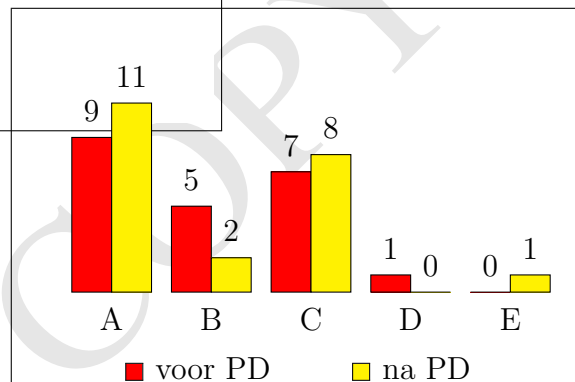
36%

goede antwoord:

C

Les 3, ConcepTest K

Eigenlijk moet bij deze vraag de lucht-wrijving expliciet worden verwaarloosd.



^{L1} 1 Nadat je een bal een tijdje stil hebt gehouden op een bepaalde hoogte laat je hem plotseling los. De beginsnelheid van de bal is:

- A omhoog
- B nul
- C omlaag

voor Peer Discussion:

86%

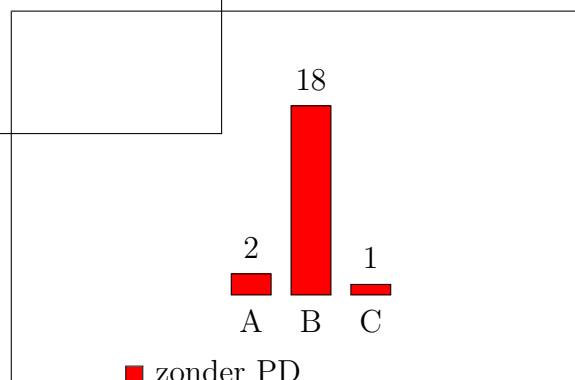
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

B

Les 3, ConcepTest L



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

M1

- 1 Verwaarloos de luchtweerstand. Als je een bal laat vallen dan versnelt deze met 9.81 m/s^2 . Als je de bal niet laat vallen, maar naar beneden gooit, dan is de versnelling na het loslaten:

- A minder dan 9.81 m/s^2 .
- B gelijk aan 9.81 m/s^2 .
- C meer dan 9.81 m/s^2 .

voor Peer Discussion:

62%

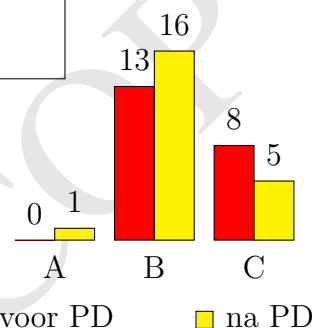
na Peer Discussion:

73%

goede antwoord:

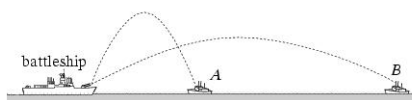
B

Les 3, ConcepTest M



N1

- 1 Een fregat schiet tegelijkertijd twee kanonskogels af op twee vijandige schepen. De kogels volgen de baan die in het plaatje te zien is. Welk schip wordt als eerste geraakt?



- A schip A
- B schip B
- C beide tegelijkertijd
- D dat kun je niet weten

voor Peer Discussion:

5%

na Peer Discussion:

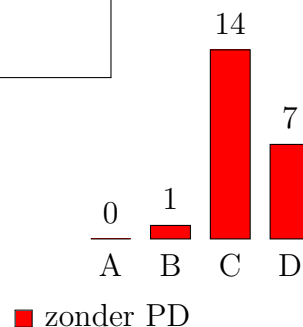
n.v.t.

goede antwoord:

B

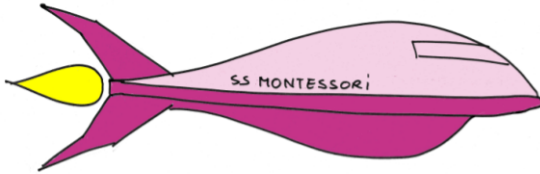
Les 3, ConcepTest N

De laatste vraag van de les gaat over stof van volgende week. Omdat er een discussie ontstond over luchtweerstand wordt deze vraag de volgende keer gesteld zonder luchtweerstand (zie 4J).



A1

1 Een ruimteschip hangt stil in de ruimte als de piloot de motor aan zet. Wat gebeurt er met de snelheid?



- A blijft even nul en neemt daarna alsmaar toe.
- B blijft even nul, neemt daarna toe en wordt uiteindelijk constant.
- C begint direct met toenemen en blijft alsmaar toenemen.
- D begint direct met toenemen en wordt uiteindelijk constant.

voor Peer Discussion:

36%

na Peer Discussion:

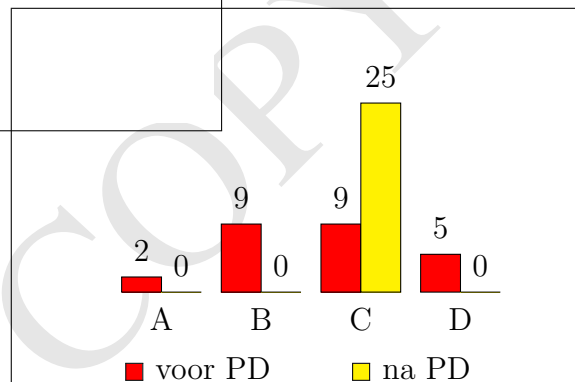
100%

goede antwoord:

C

Les 4, ConcepTest A

Wat een toename in goede antwoorden! Benieuwd hoeveel leerling deze vraag over twee weken nog goed beantwoordden? Kijk dan naar 6I.



B1

1 Je laat twee sondes tegelijkertijd van dezelfde hoogte naar beneden vallen op de maan. De sondes zijn even groot, maar de ene sonde is twee keer zo zwaar als de andere.

De lichte sonde:

- A doet er ongeveer twee keer zo lang over als de zware.
- B doet er langer over dan de zware, maar minder dan twee keer zo lang.
- C doet er even lang over als de zware.
- D is beneden in ongeveer de helft van de tijd van de zware.
- E is beneden in minder dan de helft van de tijd van de zware.

voor Peer Discussion:

84%

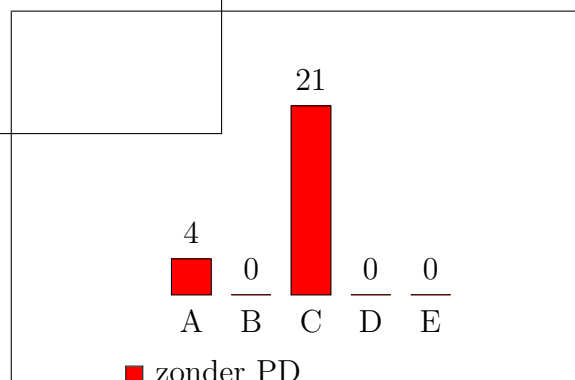
na Peer Discussion:

n.v.t.

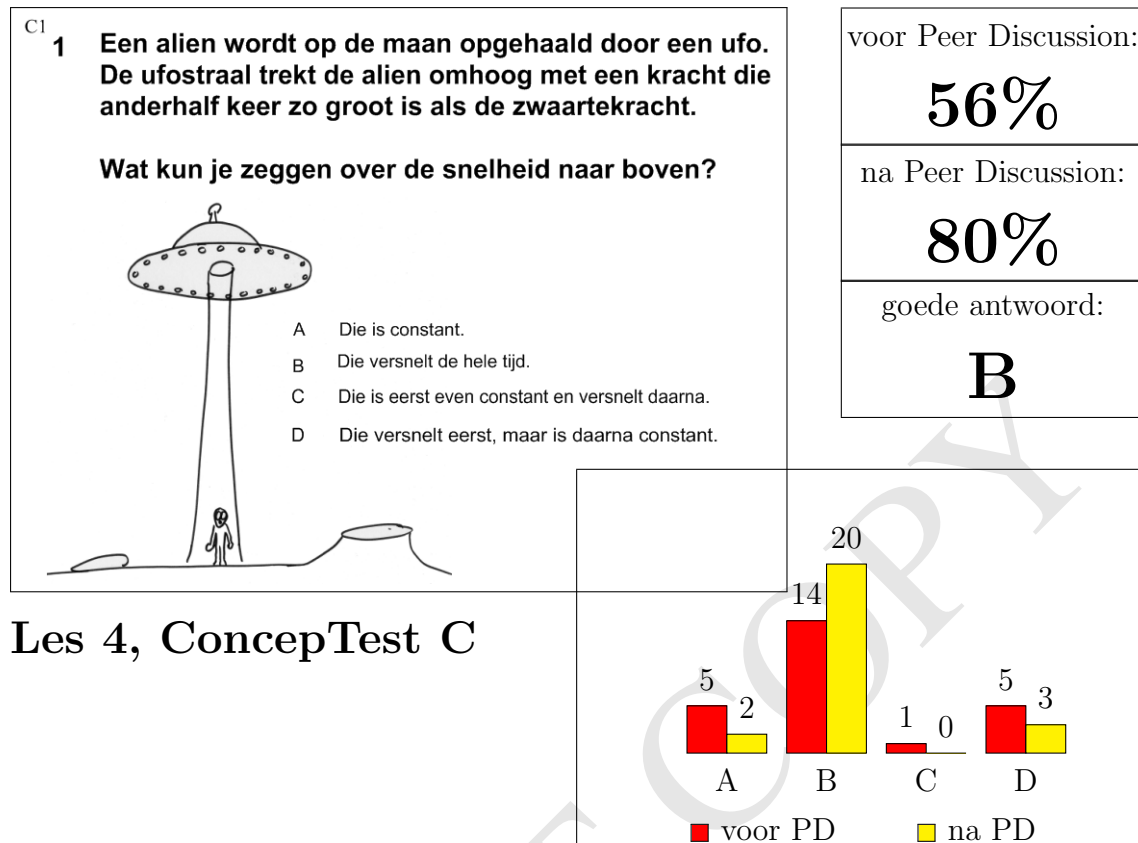
goede antwoord:

C

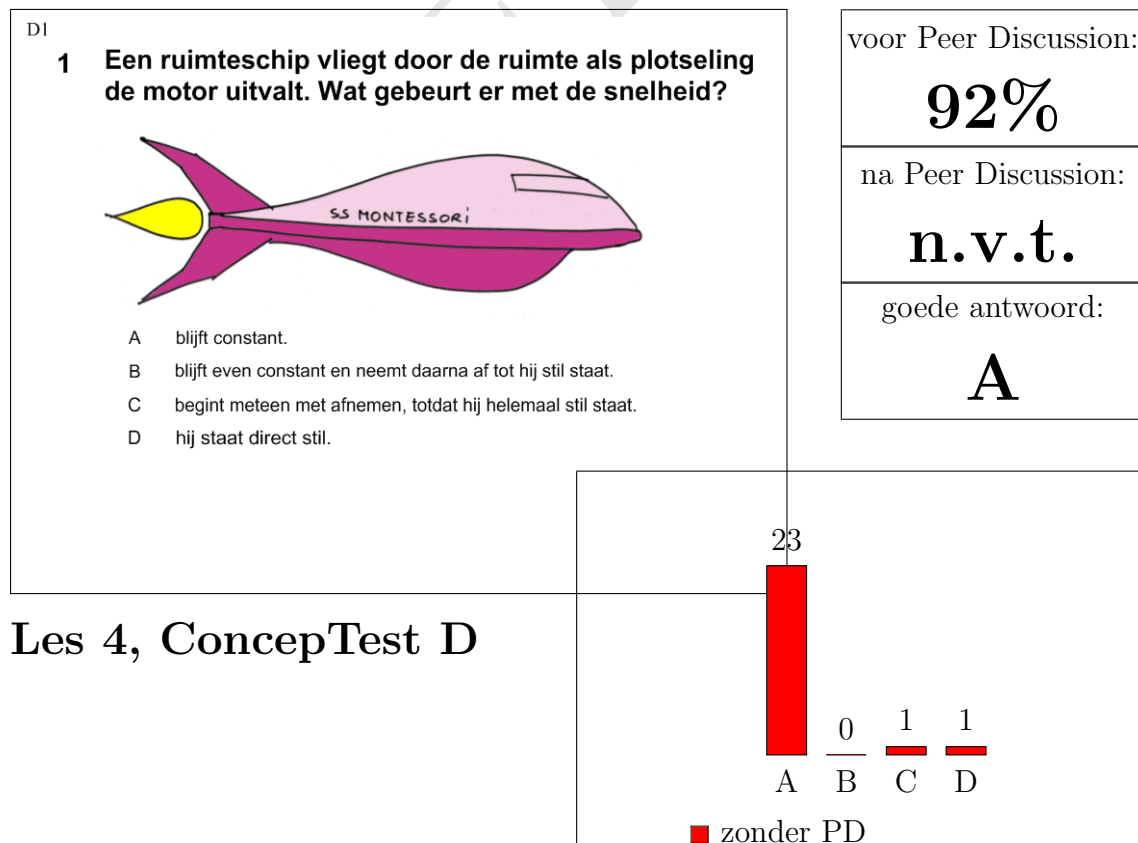
Les 4, ConcepTest B



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Les 4, ConcepTest C



Les 4, ConcepTest D

Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

E1

1 Een sonde valt van 500 meter hoogte op de maan. Tijdens de val:

- A is de snelheid eerst een tijdje nul en neemt daarna toe tot de sonde de grond raakt..
- B is de snelheid eerst een tijdje nul, neemt daarna toe en wordt uiteindelijk constant.
- C begint de snelheid direct toe te nemen en dit blijft zo tot de sonde de grond raakt.
- D begint de snelheid direct toe te nemen maar wordt uiteindelijk constant.

voor Peer Discussion:

96%

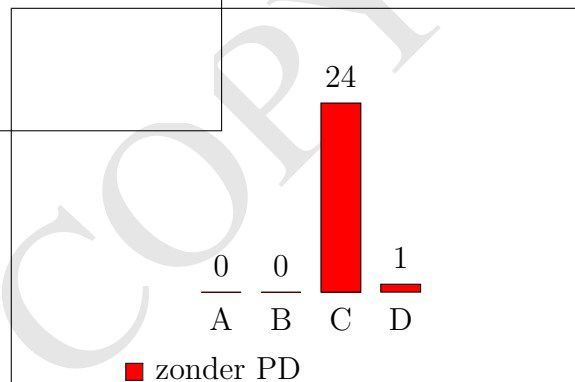
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

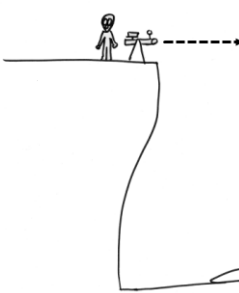
C

Les 4, ConcepTest E



F1

1 Twee even zware kogels worden in horizontale richting afgeschoten van een klif op de maan. Kogel A krijgt een snelheid van 10 m/s en kogel B krijgt een snelheid van 20 m/s. Wat is waar?



- A Kogel A is het eerste beneden.
- B Kogel B is het eerste beneden.
- C Kogel A en B zijn tegelijkertijd beneden
- D Dat kun je niet weten.

voor Peer Discussion:

60%

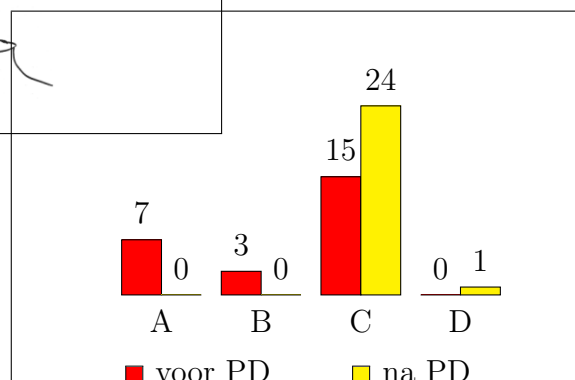
na Peer Discussion:

96%

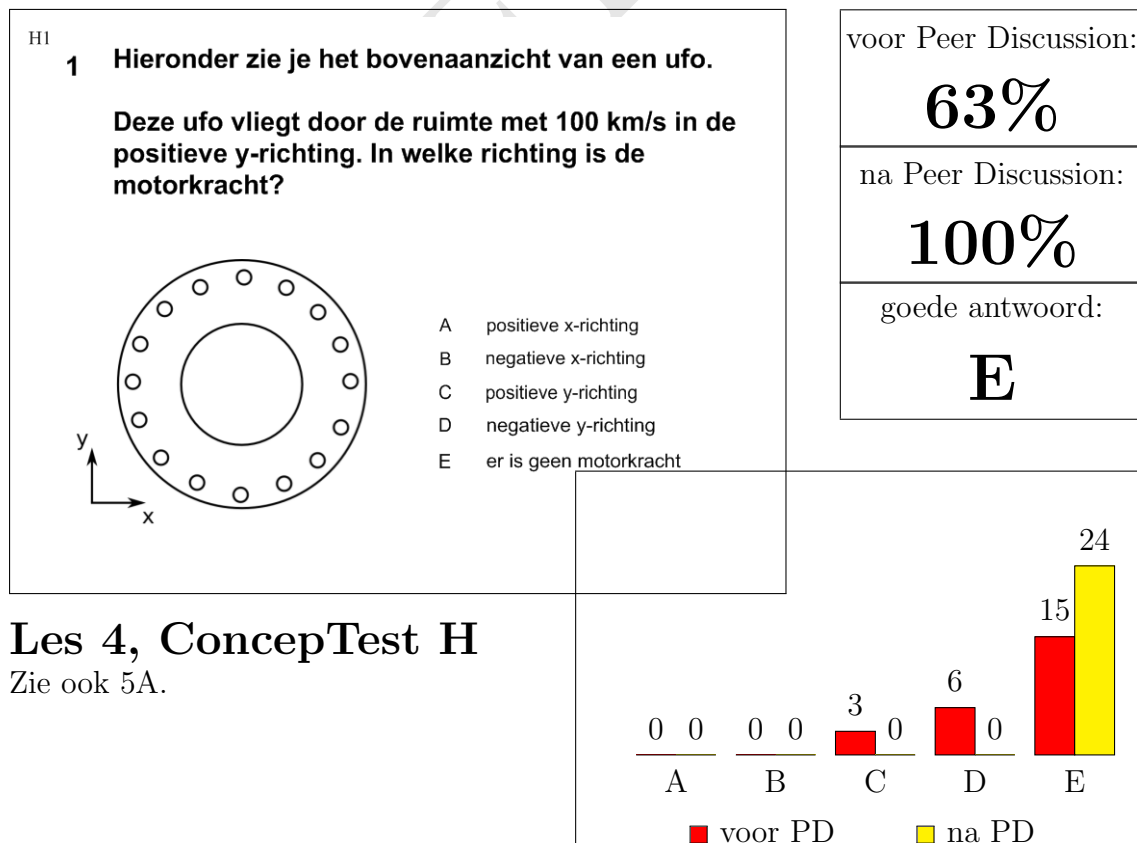
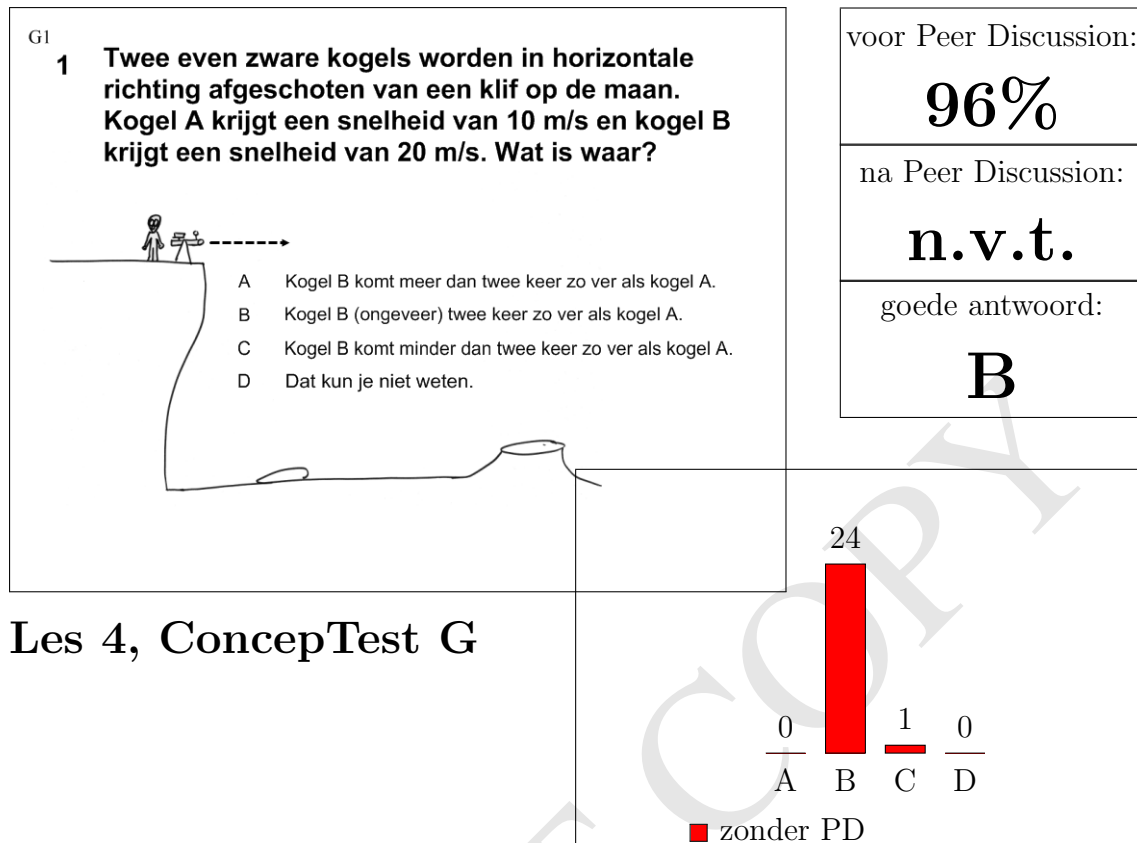
goede antwoord:

C

Les 4, ConcepTest F



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



II

1 Hieronder zie je het bovenaanzicht van een ufo.

Deze ufo vliegt door de ruimte met 100 km/s in de positieve y-richting. Welke baan volgt de ufo vanaf het moment dat de motorkracht in de positieve x-richting wordt gezet? (er zijn geen andere krachten)

A baan A

B baan B

C baan C

D baan D

voor Peer Discussion:

42%

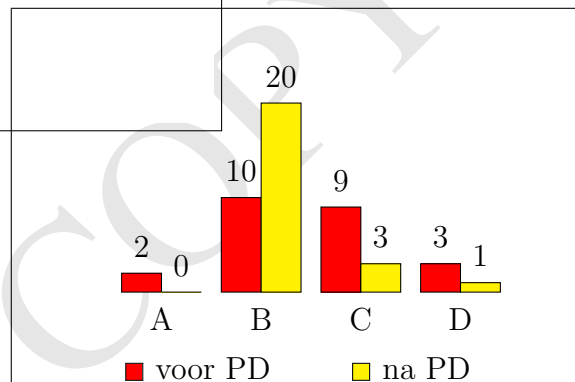
na Peer Discussion:

83%

goede antwoord:

B

Les 4, ConcepTest I



J1

1 Een fregat op de maan schiet tegelijkertijd twee kanonskogels af op twee vijandige schepen. De kogels volgen de baan die in het plaatje te zien is. Welk schip wordt als eerste geraakt?

A schip A

B schip B

C beide tegelijkertijd

D dat kun je niet weten

voor Peer Discussion:

42%

na Peer Discussion:

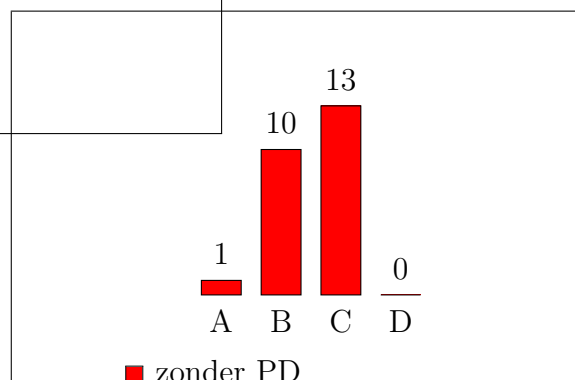
n.v.t.

goede antwoord:

B

Les 4, ConcepTest J

Deze vraag heeft een geschiedenis. Zie 3N.

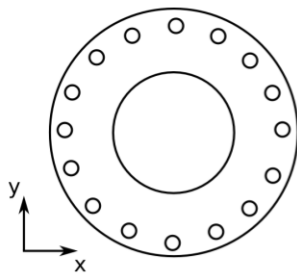


Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

A1

1 Hieronder zie je het bovenaanzicht van een ufo.

Deze ufo vliegt door de ruimte met 100 km/s in de positieve y-richting. In welke richting is de motorkracht?



- A positieve x-richting
- B negatieve x-richting
- C positieve y-richting
- D negatieve y-richting
- E er is geen motorkracht

voor Peer Discussion:

86%

na Peer Discussion:

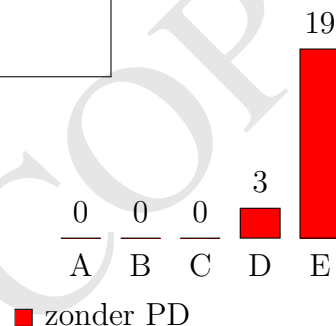
n.v.t.

goede antwoord:

E

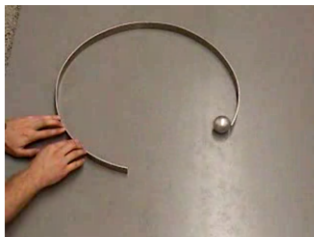
Les 5, ConcepTest A

Zie ook 4H.



B1

1 Welke krachten worden op de bal uitgeoefend vlak nadat deze de geleider heeft verlaten? Verwaarloos de wrijving.



- A De zwaartekracht.
- B De zwaartekracht en een kracht in de richting van de beweging.
- C De zwaartekracht en een normaalkracht.
- D De zwaartekracht, een kracht in de richting van de beweging en een normaalkracht.

voor Peer Discussion:

36%

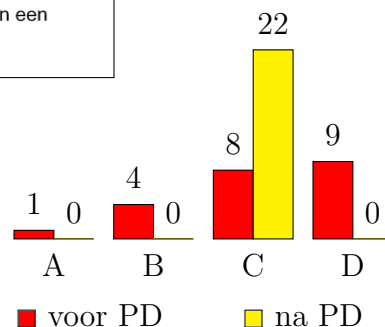
na Peer Discussion:

100%

goede antwoord:

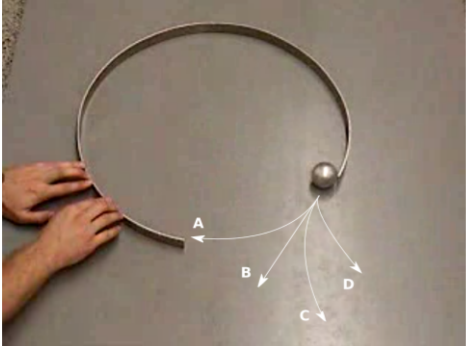
C

Les 5, ConcepTest B



C1

1 Welk pad beschrijft het beste het pad dat de bal zal volgen na het verlaten van de geleider?



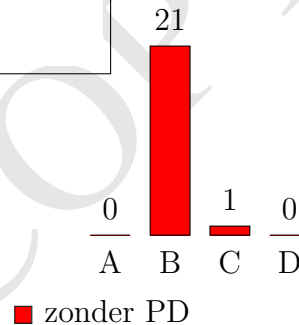
A pad A
B pad B
C pad C
D pad D

voor Peer Discussion:
95%

na Peer Discussion:
n.v.t.

goede antwoord:
B

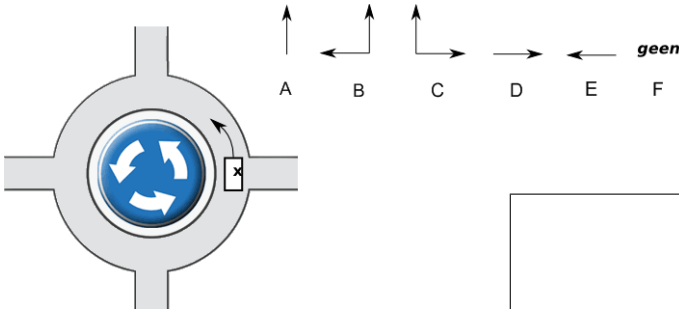
Les 5, ConcepTest C



D1

1 Je zit in een auto die met een constante snelheid rondjes rijdt over een rotonde. Je plaats in de auto is aangegeven met een kruis.

Als je de krachten in verticale richting buiten beschouwing laat, welke krachten worden er dan op je uitgeoefend?



A B C D E F *geen*

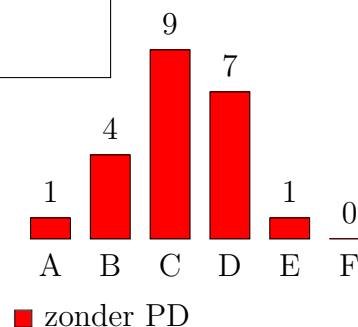
voor Peer Discussion:
5%

na Peer Discussion:
n.v.t.

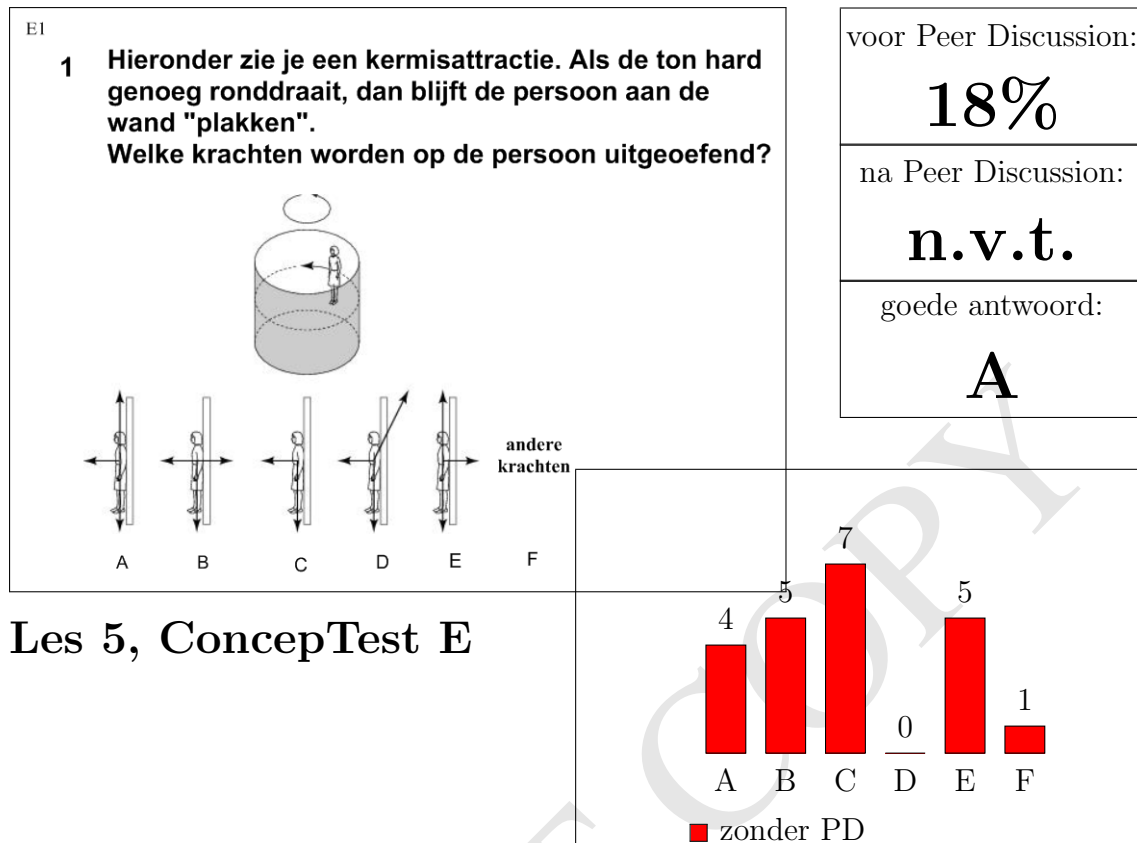
goede antwoord:
E

Les 5, ConcepTest D

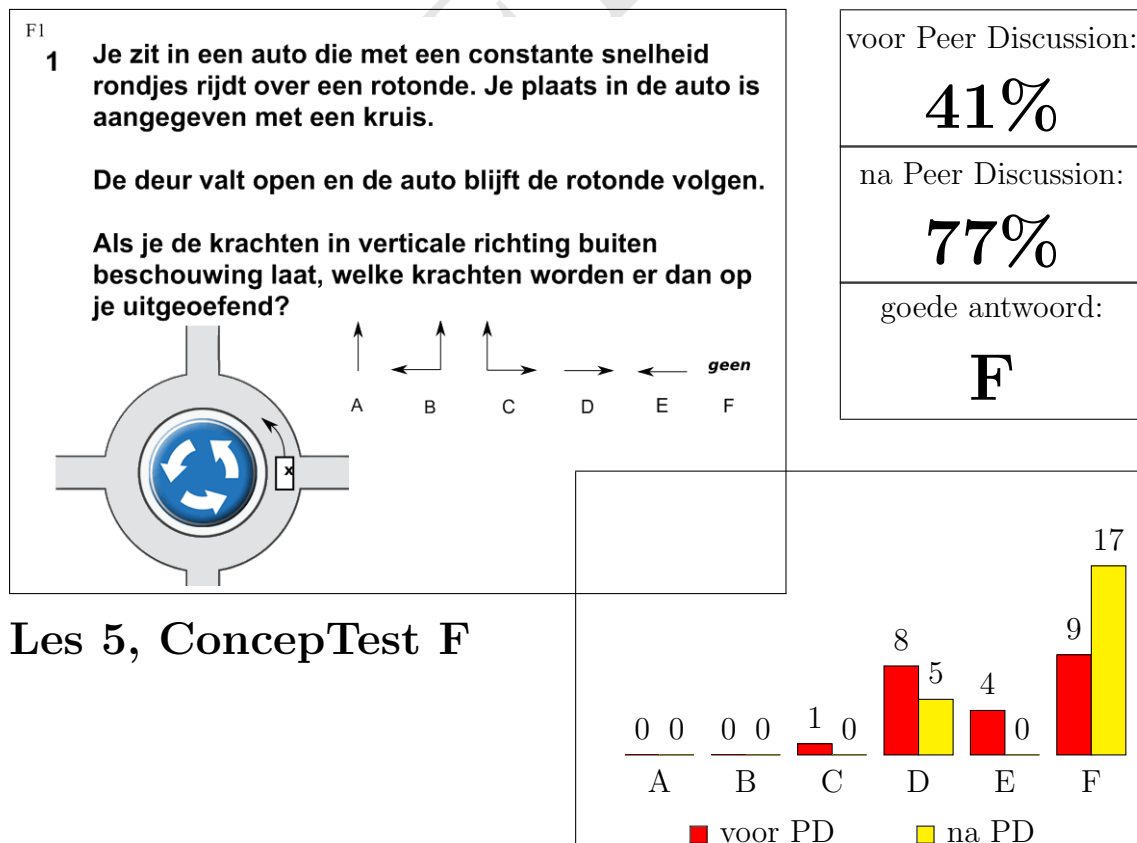
In de les moet worden verduidelijkt wat bedoeld wordt met "krachten in verticale richting".



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Les 5, ConcepTest E



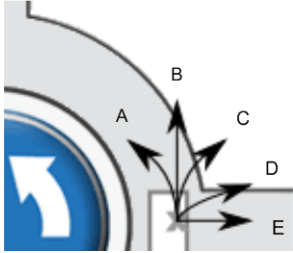
Les 5, ConcepTest F

G1

1 Je zit in een auto die met een constante snelheid rondjes rijdt over een rotonde. Je plaats in de auto is aangegeven met een kruis.

De deur valt open en de auto blijft de rotonde volgen.

Welk pad beschrijft het beste het pad dat je volgt als je uit de auto geslingerd wordt?



voor Peer Discussion:

59%

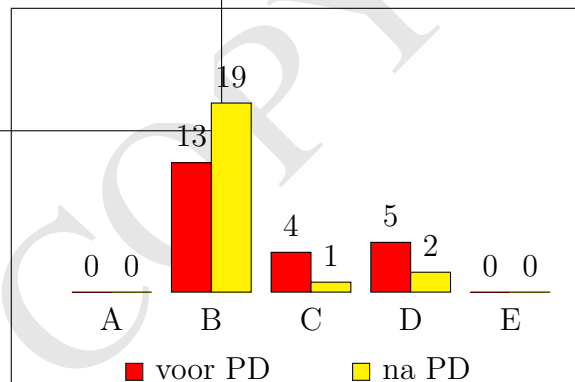
na Peer Discussion:

86%

goede antwoord:

B

Les 5, ConcepTest G

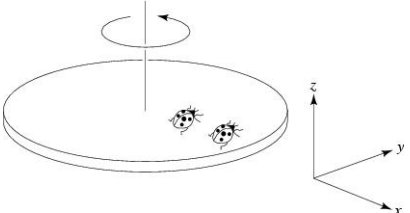


H1

1 Twee lieveheersbeestjes zitten op een draaiende draaimolen. Het buitenste beestje zit twee keer zo ver van het midden als het binnenste beestje.

De hoeksnelheid van het buitenste beestje is:

A twee keer zo groot als die van het binnenste beestje.
 B even groot als die van het binnenste beestje.
 C half zo groot als die van het binnenste beestje.
 D dat kun je niet weten



voor Peer Discussion:

14%

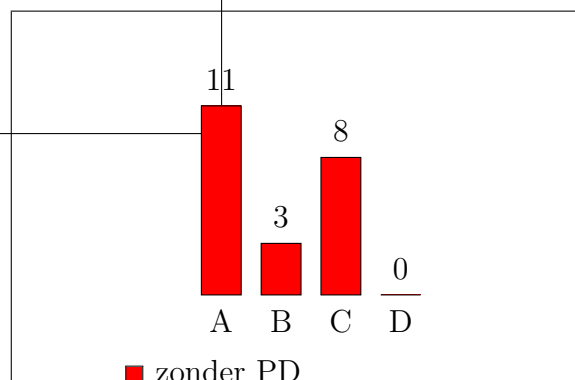
na Peer Discussion:

n.v.t.

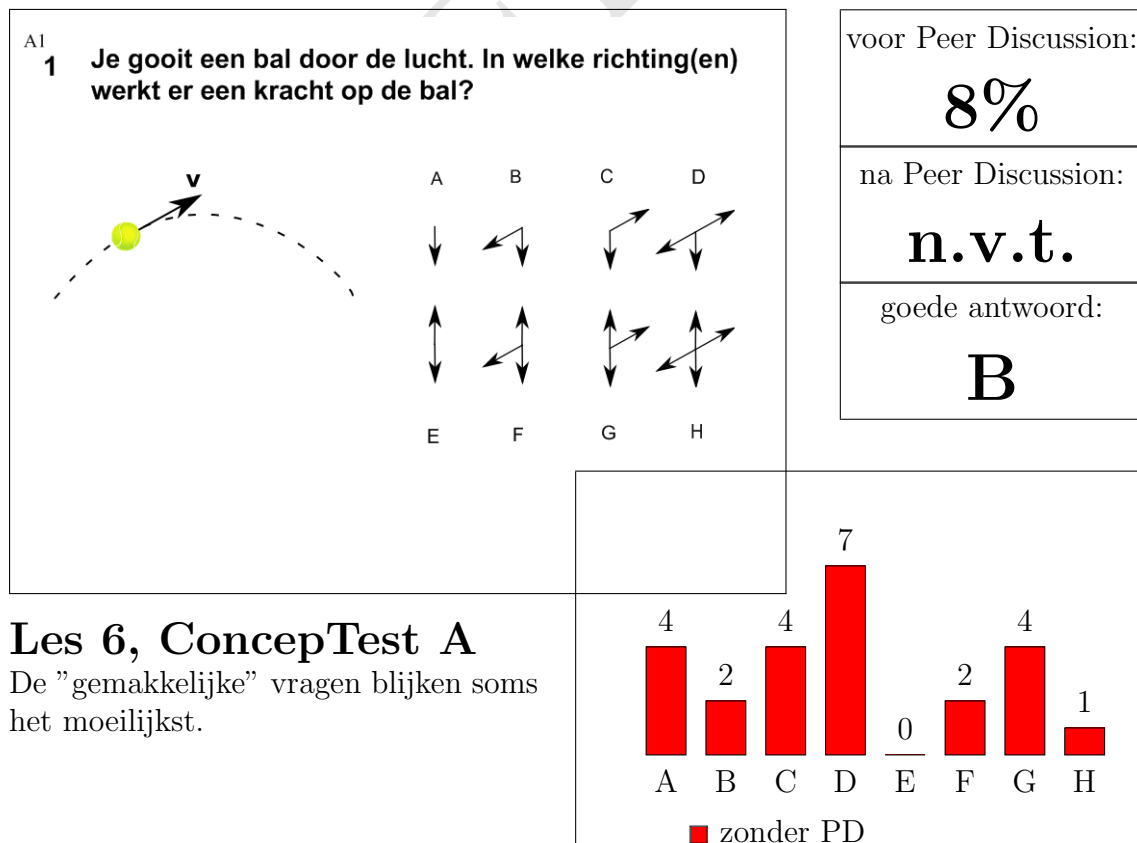
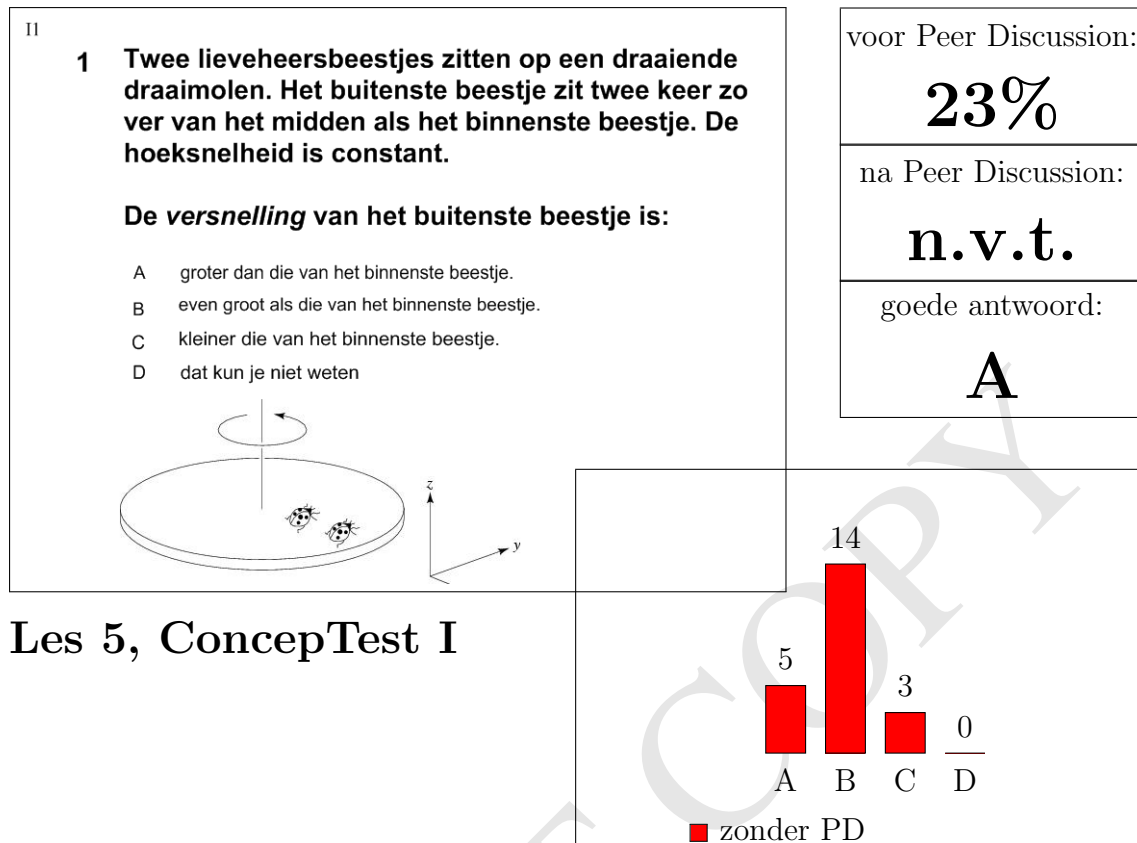
goede antwoord:

B

Les 5, ConcepTest H



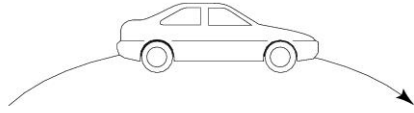
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

B1

1 Een auto rijdt met een constante snelheid over een heuvel. Werkt er een netto kracht op de auto?



A Nee, de snelheid is constant.
 B Ja.
 C Dat hangt af van de curve van de heuvel en/of de snelheid van de auto.

voor Peer Discussion:

28%

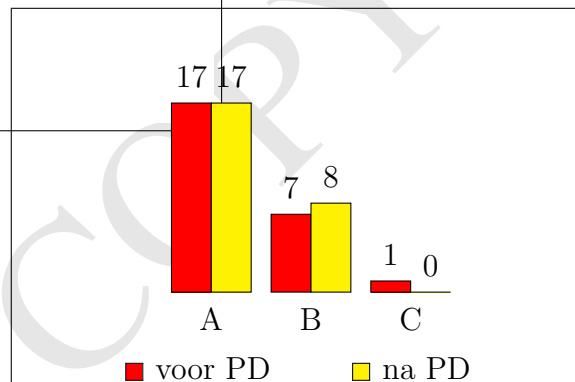
na Peer Discussion:

32%

goede antwoord:

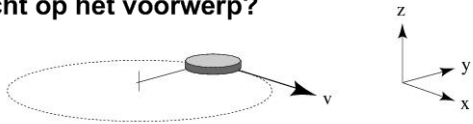
B

Les 6, ConcepTest B

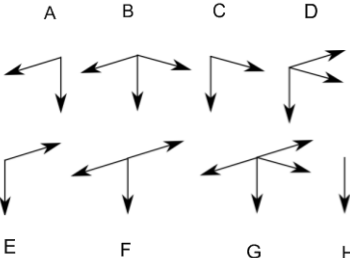


C1

1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante snelheid rondgeslingerd aan een touw. Verwaarloos de luchtweerstand. In welke richting(en) werkt er een kracht op het voorwerp?



A B C D



E F G H

voor Peer Discussion:

52%

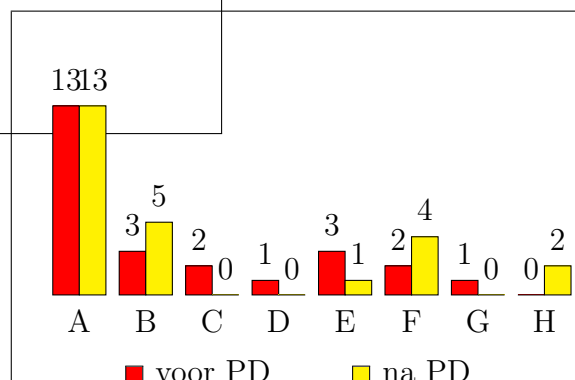
na Peer Discussion:

52%

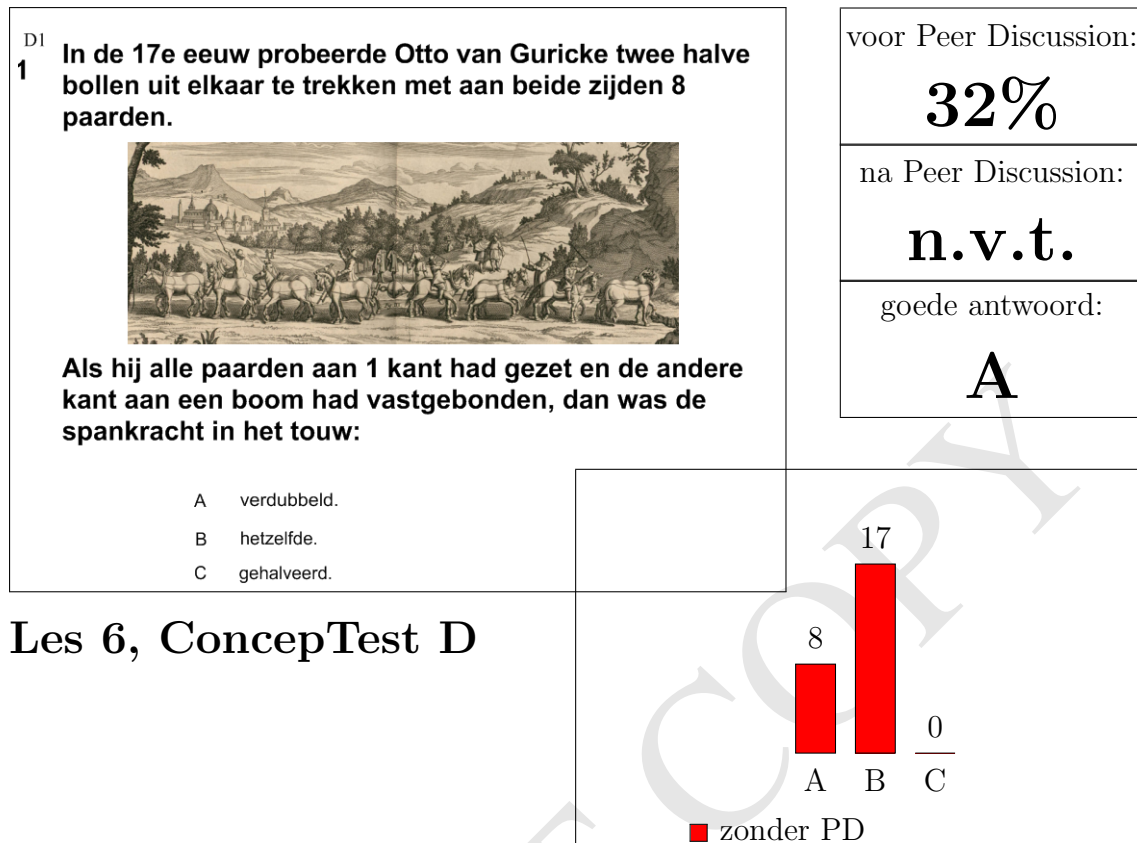
goede antwoord:

A

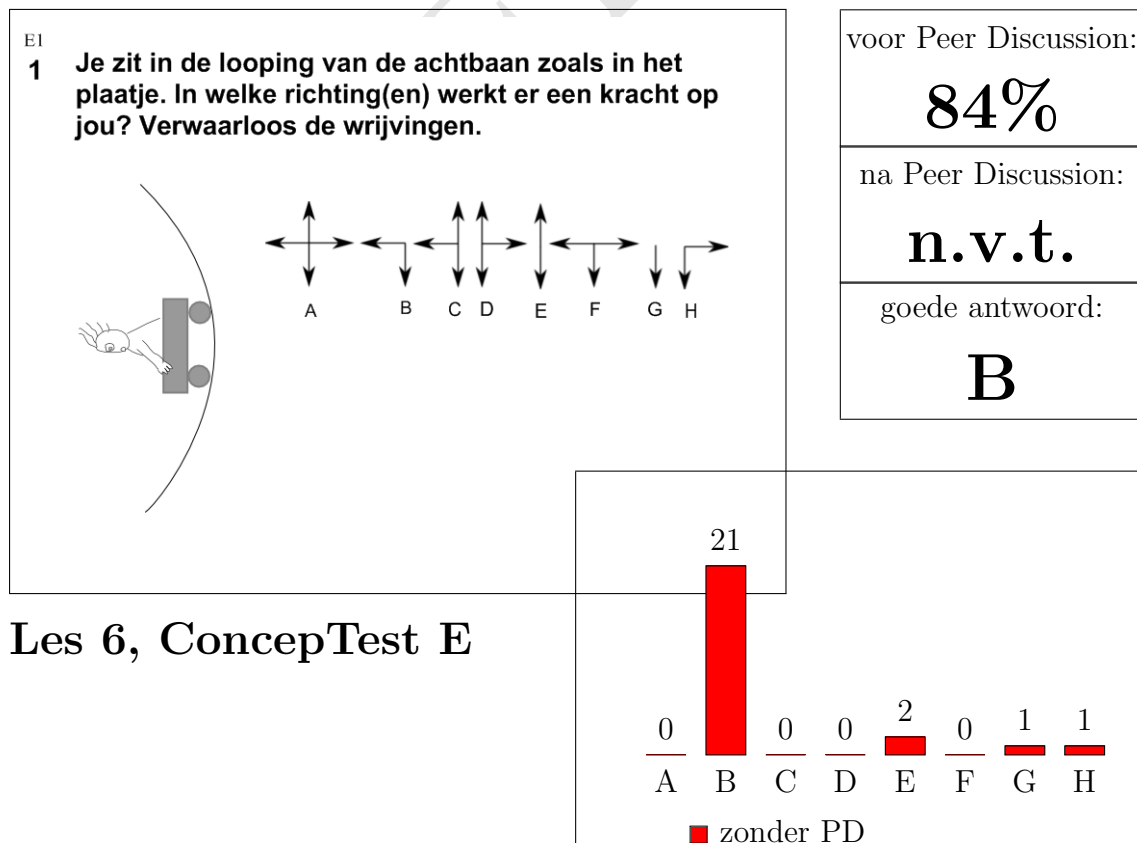
Les 6, ConcepTest C



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Les 6, ConcepTest D



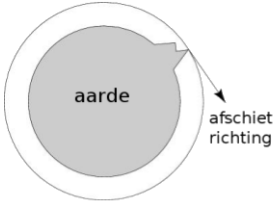
Les 6, ConcepTest E

Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

F1

1 Een bal wordt horizontaal afgeschoten vanaf een grote berg. De snelheid is groot genoeg om de bal in een baan rond de aarde te krijgen. Verwaarloos de luchtweerstand.

De versnelling van de bal als deze rondjes maakt rond de aarde is:



A veel minder dan g .

B ongeveer gelijk aan g .

C afhankelijk van de snelheid.

voor Peer Discussion:

68%

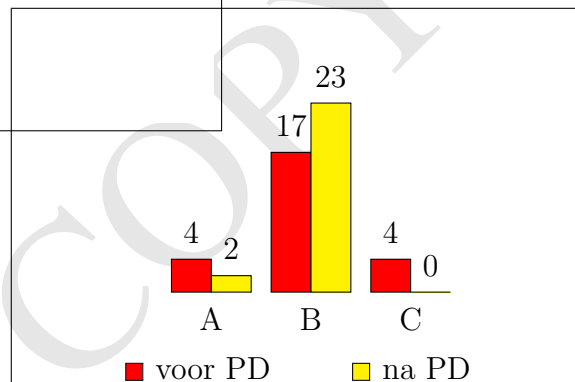
na Peer Discussion:

92%

goede antwoord:

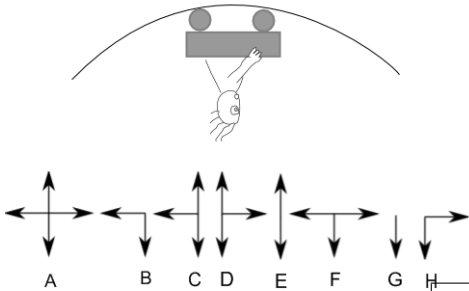
B

Les 6, ConcepTest F



G1

1 Je zit in de looping van de achtbaan zoals in het plaatje. In welke richting(en) werkt er een kracht op jou? Verwaarloos de wrijvingen.



voor Peer Discussion:

84%

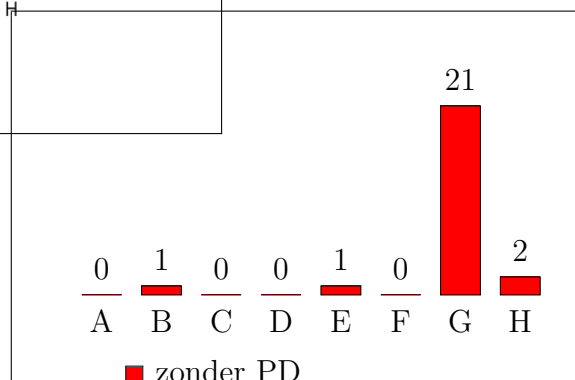
na Peer Discussion:

n.v.t.

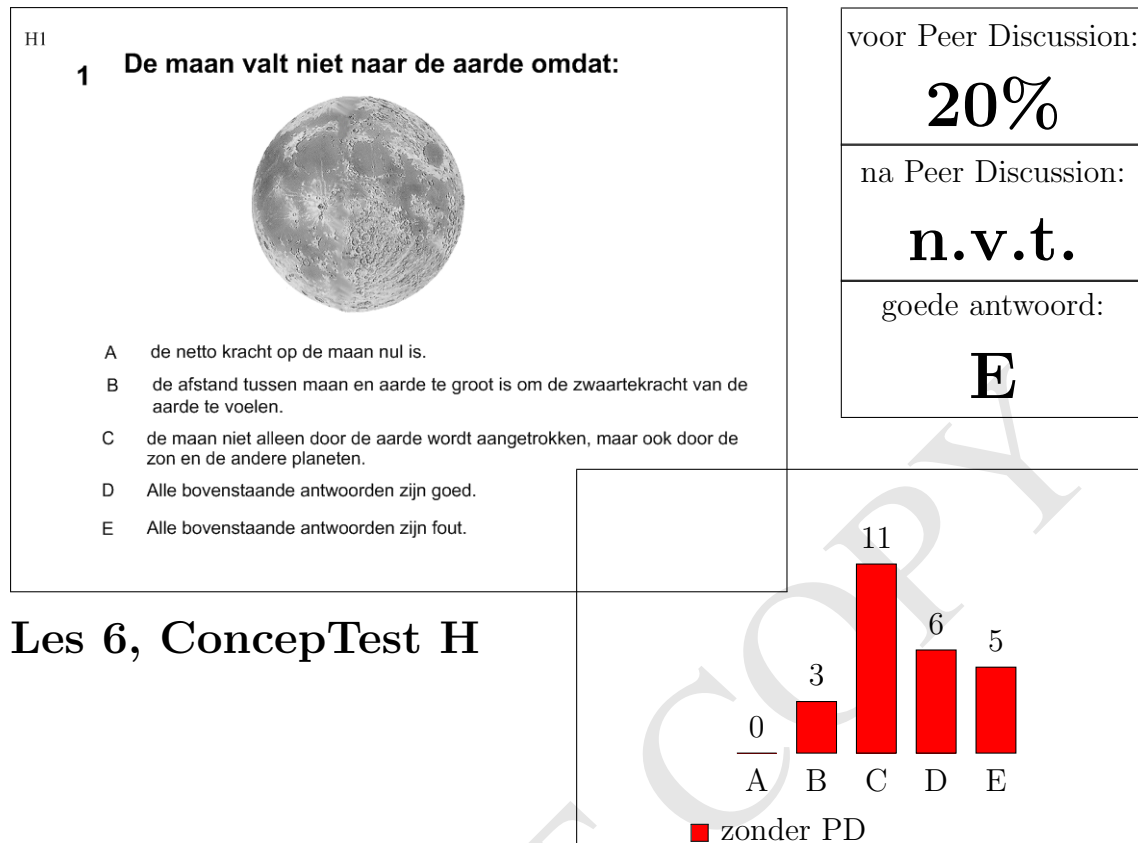
goede antwoord:

G

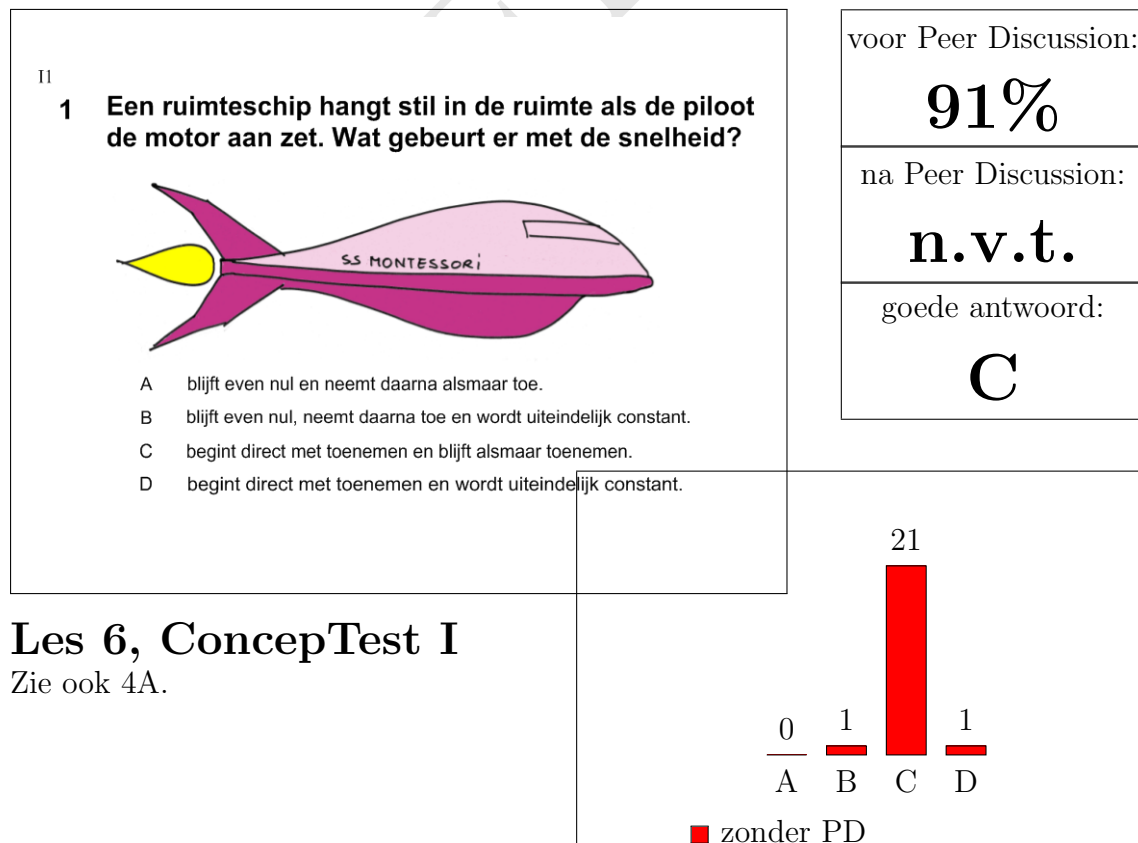
Les 6, ConcepTest G



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Les 6, ConcepTest H

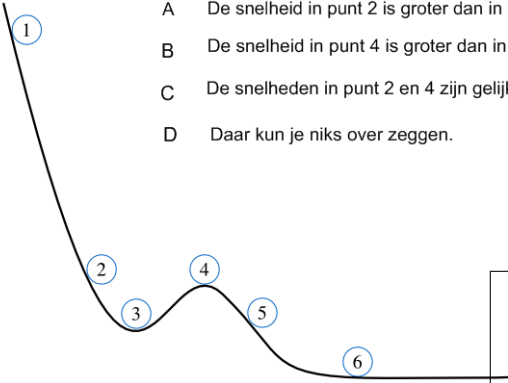


Les 6, ConcepTest I

Zie ook 4A.

A1

1 Een bal rolt zonder wrijving van een helling. Wat kun je zeggen over de snelheden in punt 2 en punt 4?



- A De snelheid in punt 2 is groter dan in punt 4.
- B De snelheid in punt 4 is groter dan in punt 2.
- C De snelheden in punt 2 en 4 zijn gelijk.
- D Daar kun je niks over zeggen.

voor Peer Discussion:

95%

na Peer Discussion:

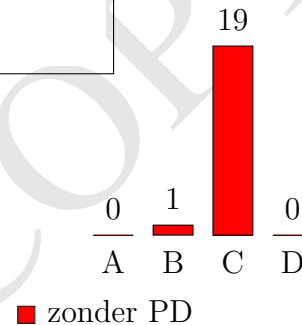
n.v.t.

goede antwoord:

C

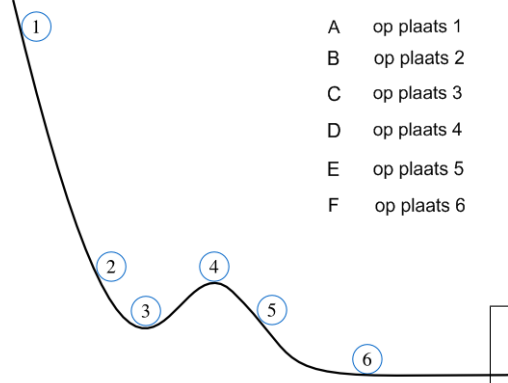
Les 7, ConcepTest A

Herhaling van 6 lessen geleden. Zie 1E.



B1

1 Een bal rolt zonder wrijving van een helling. Waar is de snelheid het grootste?



- A op plaats 1
- B op plaats 2
- C op plaats 3
- D op plaats 4
- E op plaats 5
- F op plaats 6

voor Peer Discussion:

95%

na Peer Discussion:

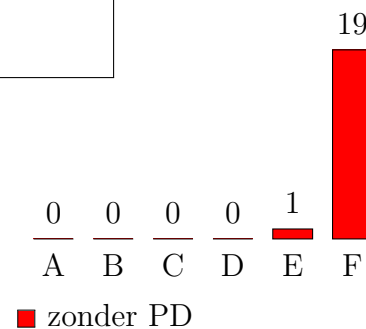
n.v.t.

goede antwoord:

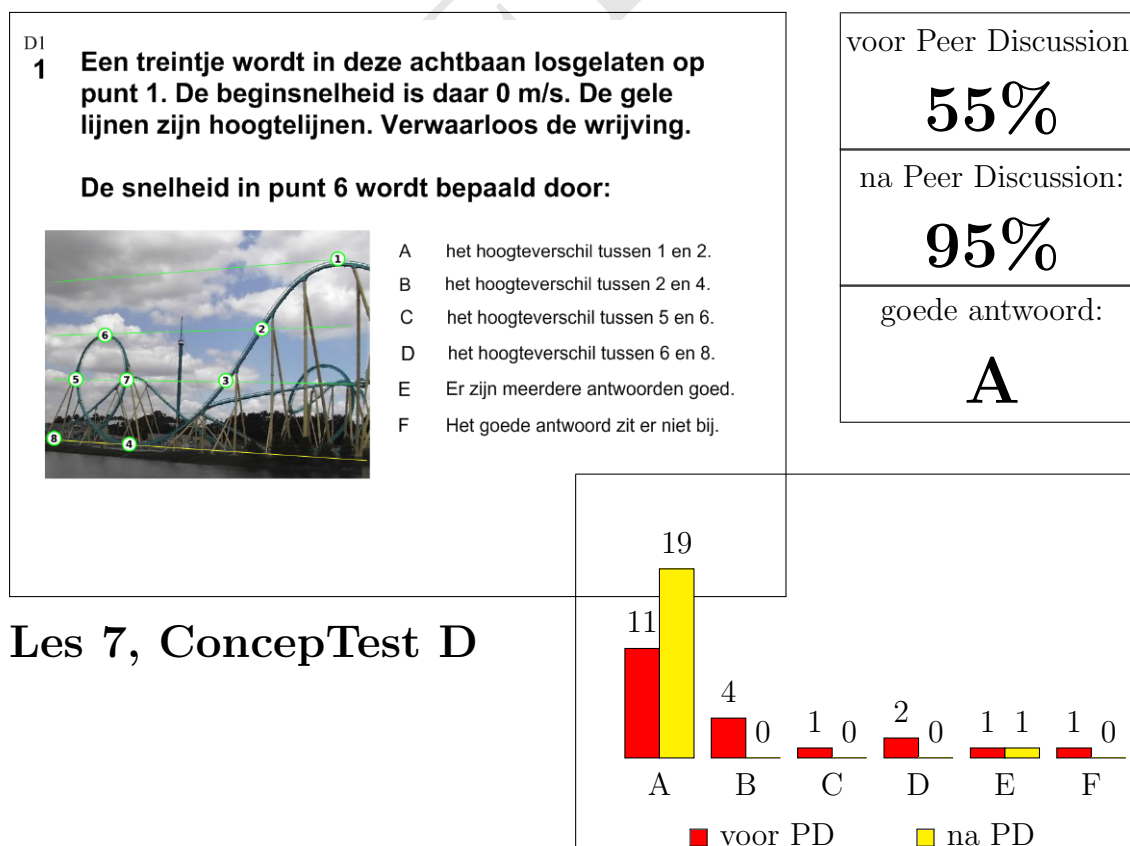
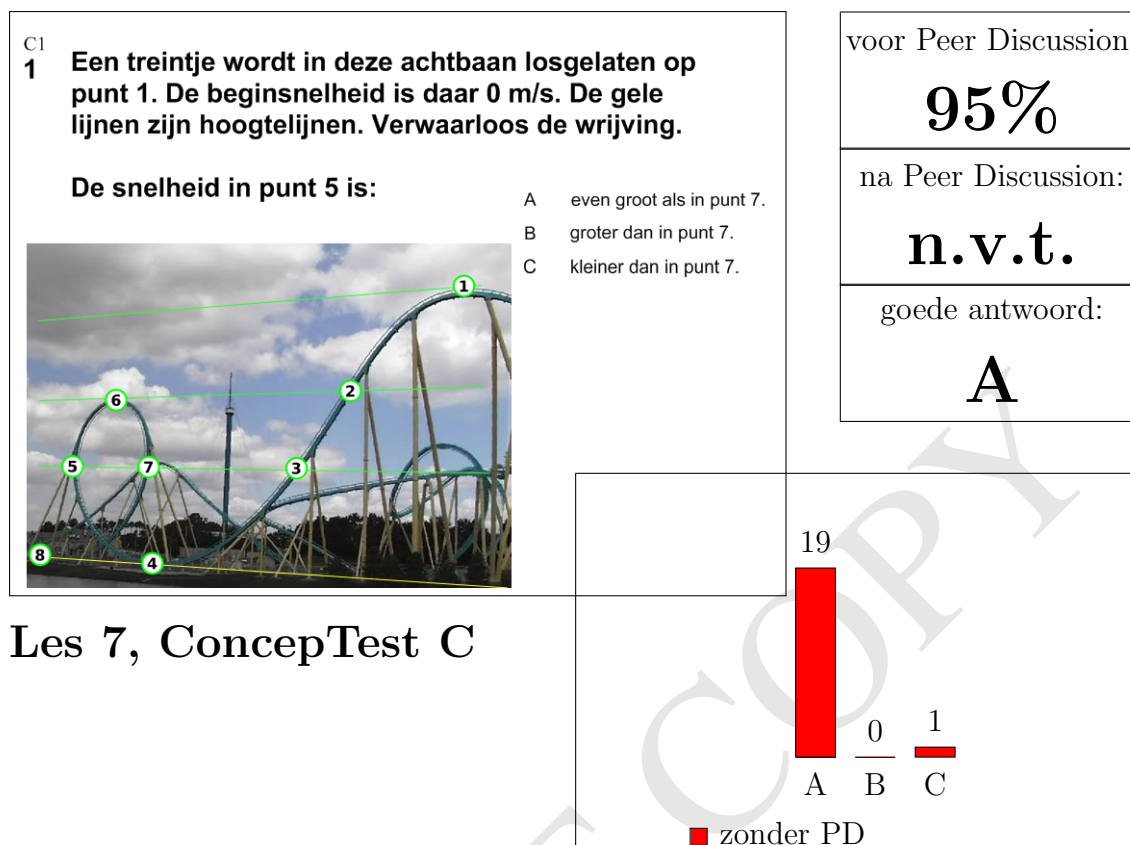
F

Les 7, ConcepTest B

Herhaling van 6 lessen geleden. Zie 1D.



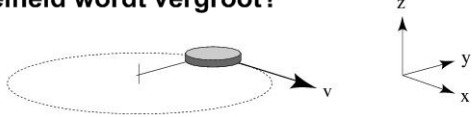
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

E1

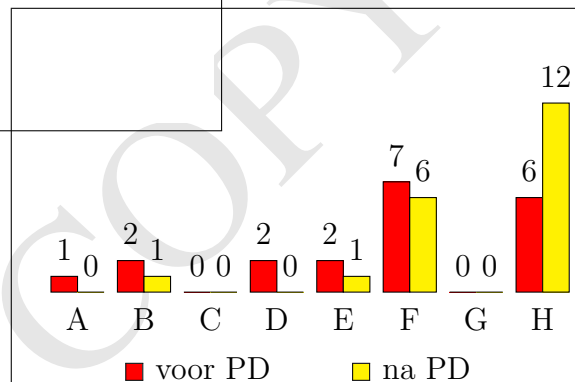
1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante snelheid rondgeslingerd aan een touw. Verwaarloos de luchtwrijving. Wat gebeurt er als alleen de snelheid wordt vergroot?



A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
 B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
 C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
 D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
 E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
 F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
 G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
 H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:
30%
 na Peer Discussion:
60%
 goede antwoord:
H

Les 7, ConcepTest E



F1

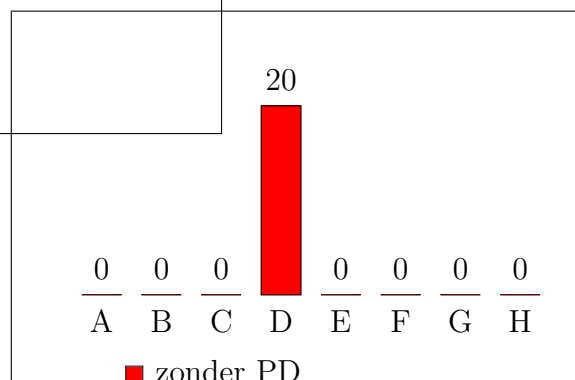
1 Een treintje gaat door een looping van een achtbaan. Verwaarloos de wrijving. Wat verandert er als je het treintje op een lagere snelheid door de looping laat gaan?



A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
 B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
 C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
 D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
 E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
 F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
 G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
 H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:
100%
 na Peer Discussion:
n.v.t.
 goede antwoord:
D

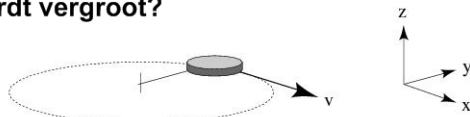
Les 7, ConcepTest F



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

G1

- 1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante snelheid rondgeslingerd aan een touw. Verwaarloos de luchtweerstand. Wat gebeurt er als alleen de massa wordt vergroot?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

80%

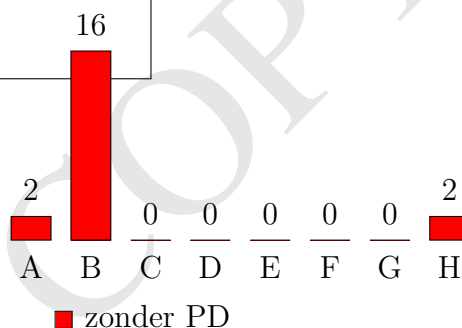
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

B

Les 7, ConcepTest G



H1

- 1 Een treintje gaat door een looping van een achtbaan. Verwaarloos de wrijving. Wat verandert er als je het treintje meer massa geeft? Ga er vanuit dat de snelheid niet verandert.



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

85%

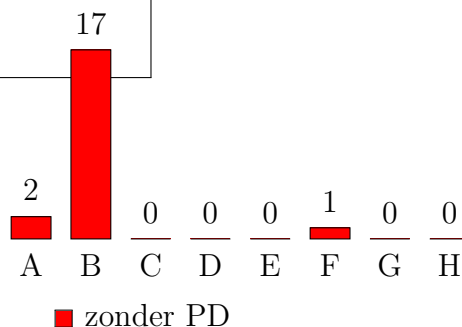
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

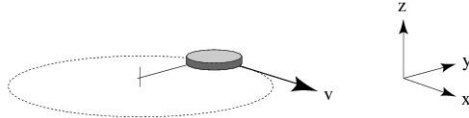
B

Les 7, ConcepTest H



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

- II 1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante (baan)snelheid rondgeslingerd aan een touw. Verwaarloos de luchtweijving. Wat gebeurt er als alleen de lengte van het touw wordt vergroot?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

25%

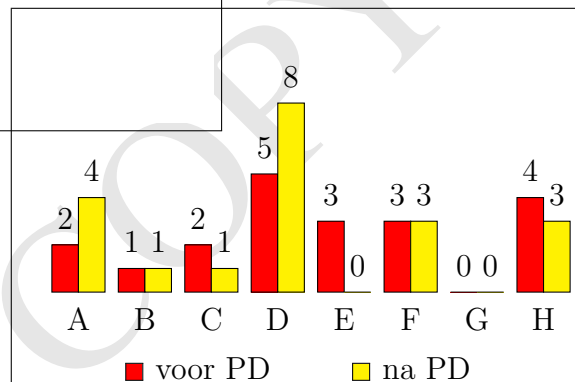
na Peer Discussion:

40%

goede antwoord:

D

Les 7, ConcepTest I



- J1 1 Een treintje gaat door een looping van een achtbaan. Verwaarloos de wrijving. Wat zou er gebeuren als je de straal van de looping kleiner kon maken?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

95%

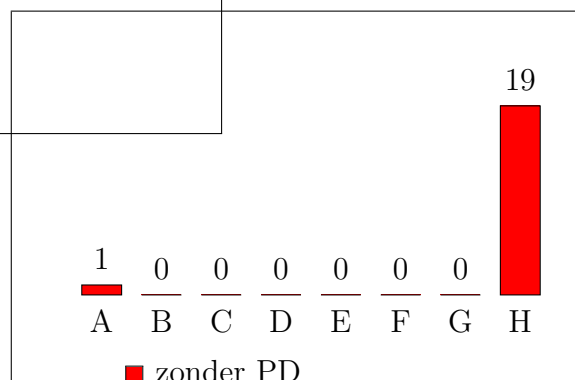
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

H

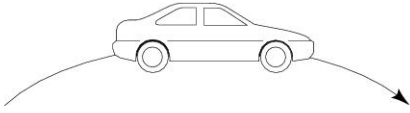
Les 7, ConcepTest J



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

A1

1 Een auto rijdt met een constante snelheid over een heuvel. Werkt er een netto kracht op de auto?



A Nee, de snelheid is constant.
 B Ja.
 C Dat hangt af van de curve van de heuvel en/of de snelheid van de auto.

voor Peer Discussion:

64%

na Peer Discussion:

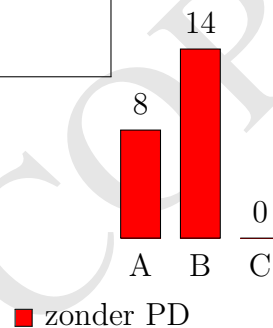
n.v.t.

goede antwoord:

B

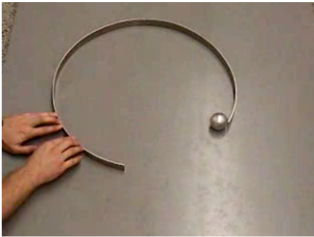
Les 8, ConcepTest A

Alle ConcepTests uit les 8 zijn in eerdere lessen gebruikt.



B1

1 Welke krachten worden op de bal uitgeoefend vlak nadat deze de geleider heeft verlaten? Verwaarloos de wrijving.



A De zwaartekracht.
 B De zwaartekracht en een kracht in de richting van de beweging.
 C De zwaartekracht en een normaalkracht.
 D De zwaartekracht, een kracht in de richting van de beweging en een normaalkracht.

voor Peer Discussion:

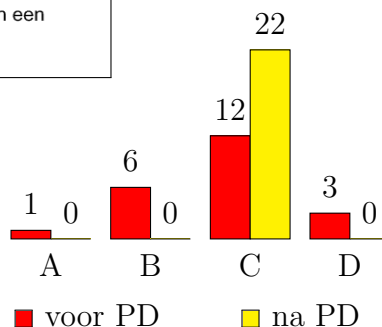
55%

na Peer Discussion:

100%

goede antwoord:

C



Les 8, ConcepTest B

Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

^{C1}
1 Je gooit een bal recht omhoog. Op het hoogste punt geldt dat:

A de snelheid en de versnelling beide nul zijn.
 B de snelheid niet nul is, maar de versnelling is wel nul.
 C de snelheid wel is nul, maar de versnelling is niet nul.
 D de snelheid en de versnelling zijn beide niet nul.

voor Peer Discussion:

64%

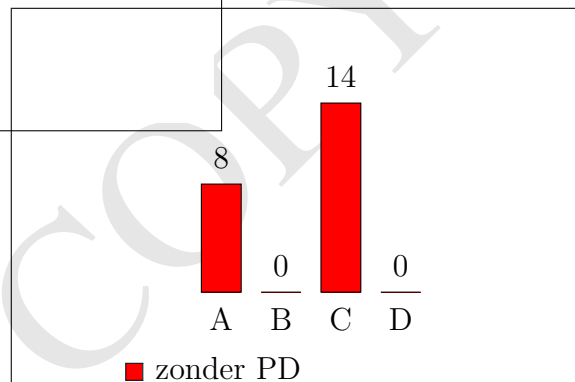
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

C

Les 8, ConcepTest C



^{D1}
1 Je gooit een bal door de lucht. In welke richting(en) werkt er een kracht op de bal?

A ↓ B ↙ C ↘ D ↗
 E ↑ F ↖ G ↗ H ↘

voor Peer Discussion:

86%

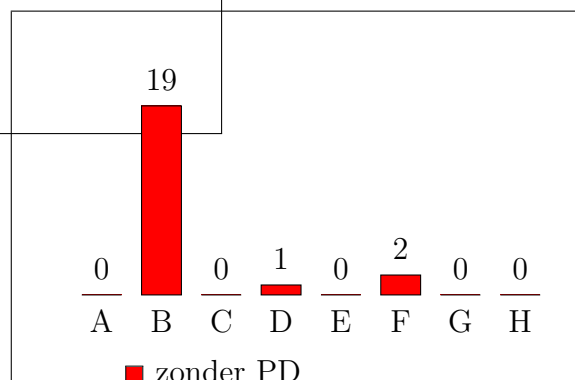
na Peer Discussion:

n.v.t.

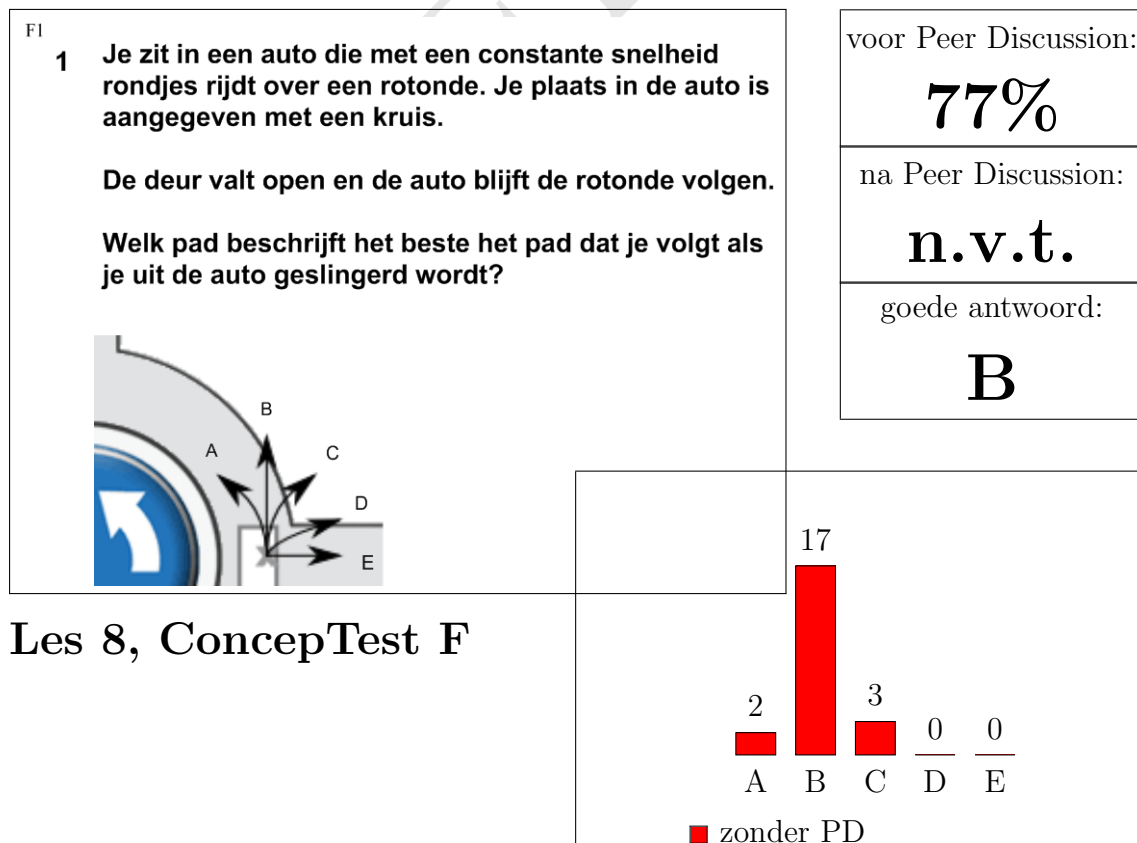
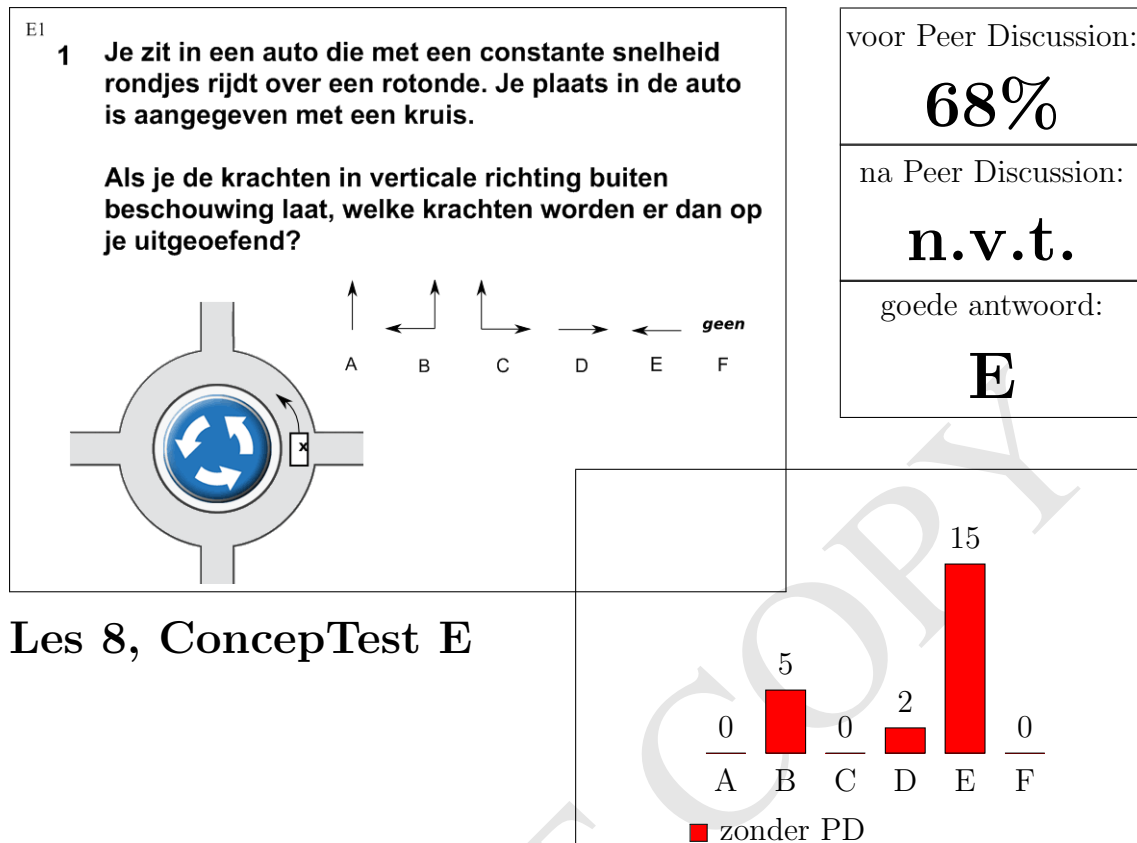
goede antwoord:

B

Les 8, ConcepTest D



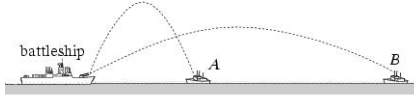
Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

G1

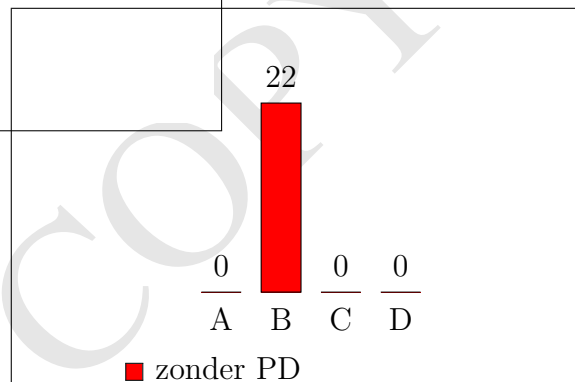
1 Een fregat schiet tegelijkertijd twee kanonskogels af op twee vijandige schepen. De kogels volgen de baan die in het plaatje te zien is. Welk schip wordt als eerste geraakt?



A schip A
B schip B
C beide tegelijkertijd
D dat kun je niet weten

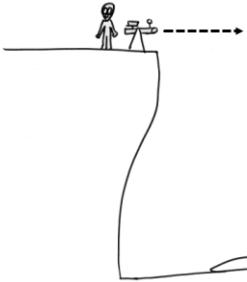
voor Peer Discussion:
100%
na Peer Discussion:
n.v.t.
goede antwoord:
B

Les 8, ConcepTest G



H1

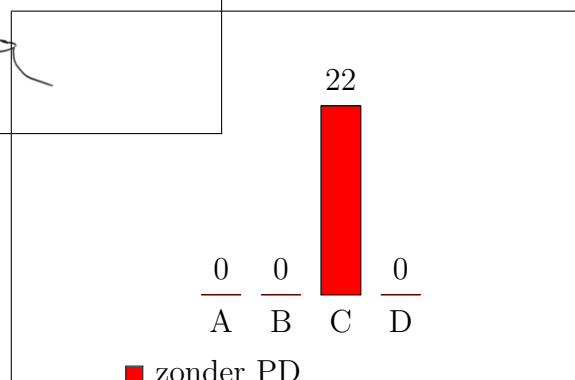
1 Twee even zware kogels worden in horizontale richting afgeschoten van een klif op de maan. Kogel A krijgt een snelheid van 10 m/s en kogel B krijgt een snelheid van 20 m/s. Wat is waar?



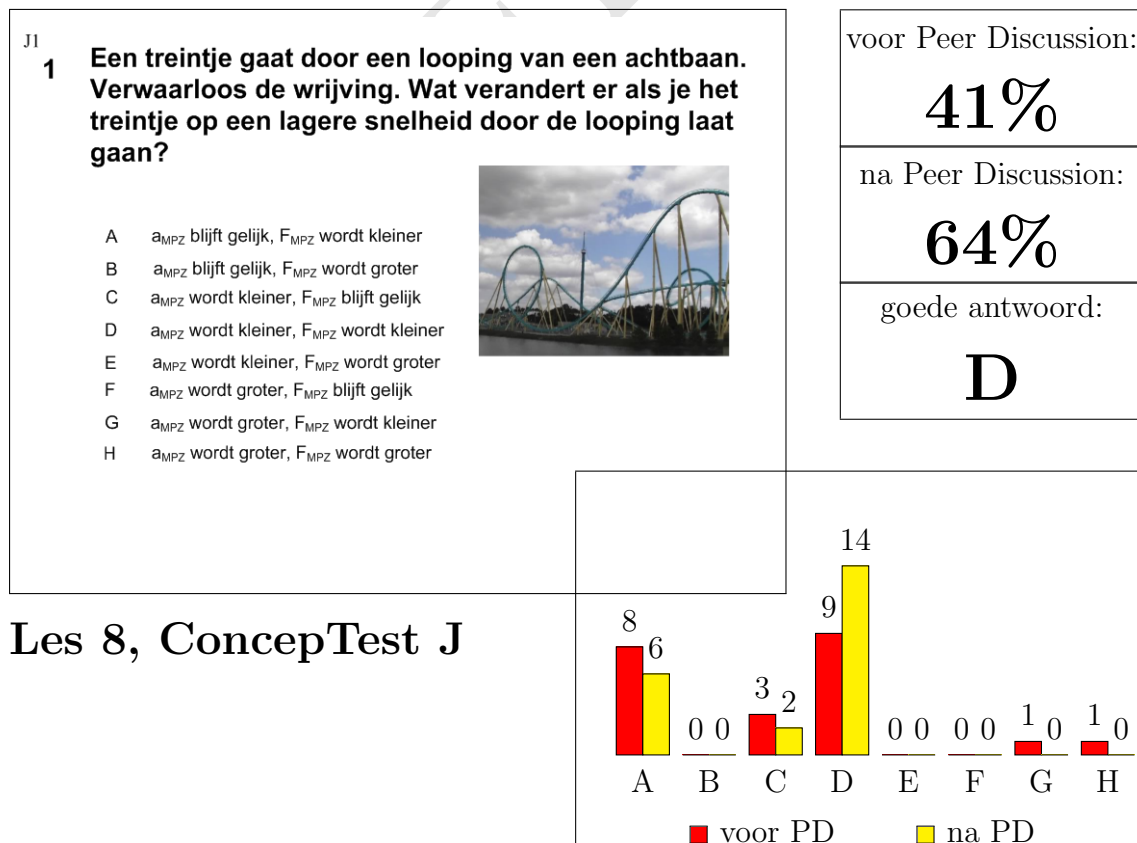
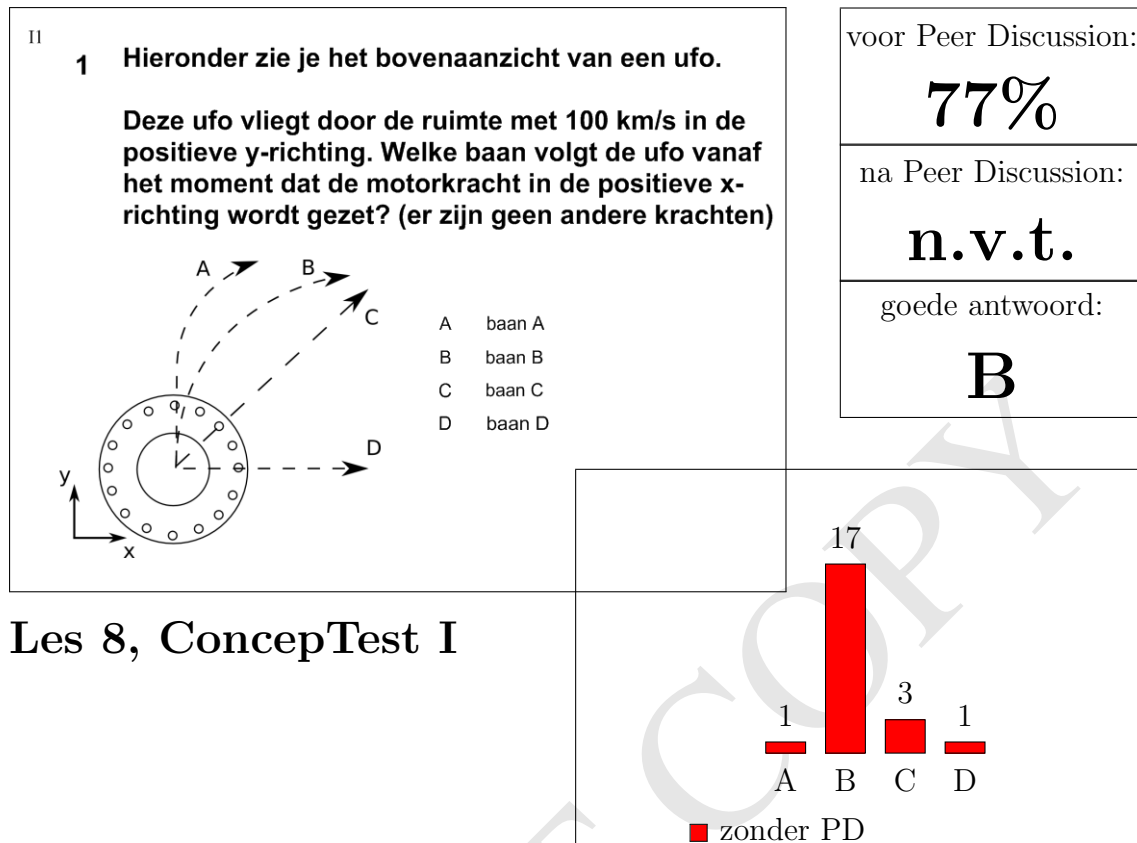
A Kogel A is het eerste beneden.
B Kogel B is het eerste beneden.
C Kogel A en B zijn tegelijkertijd beneden
D Dat kun je niet weten.

voor Peer Discussion:
100%
na Peer Discussion:
n.v.t.
goede antwoord:
C

Les 8, ConcepTest H

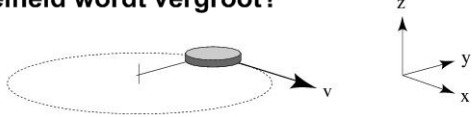


Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

K1 1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante snelheid rondgeslingert aan een touw. Verwaarloos de luchtwrijving. Wat gebeurt er als alleen de snelheid wordt vergroot?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

82%

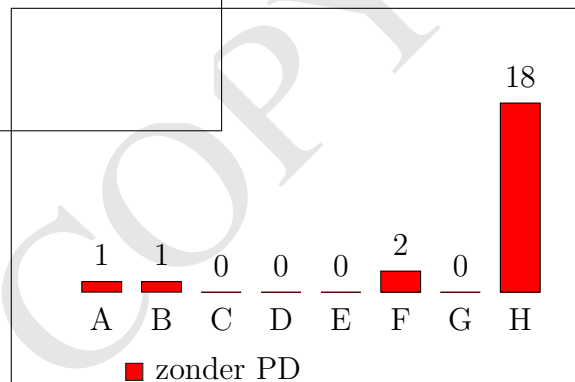
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

H

Les 8, ConcepTest K



L1 1 Een treintje gaat door een looping van een achtbaan. Verwaarloos de wrijving. Wat zou er gebeuren als je de straal van de looping kleiner kon maken?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

64%

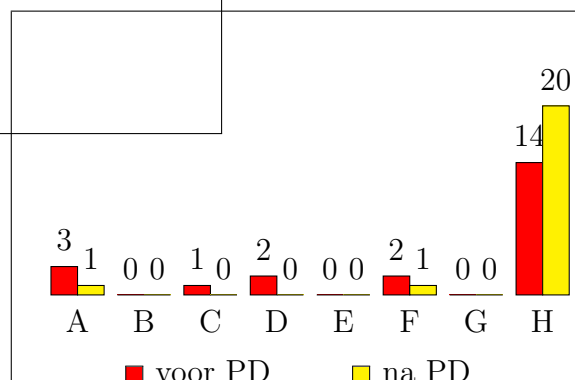
na Peer Discussion:

91%

goede antwoord:

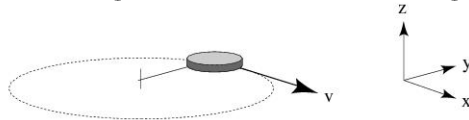
H

Les 8, ConcepTest L



Appendix F: ConcepTests en antwoordverdelingen

- M1 1 Het voorwerp hieronder wordt met een constante (baan)snelheid rondgeslingert aan een touw. Verwaarloos de luchtwrijving. Wat gebeurt er als alleen de lengte van het touw wordt vergroot?



- A a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt kleiner
- B a_{MPZ} blijft gelijk, F_{MPZ} wordt groter
- C a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} blijft gelijk
- D a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt kleiner
- E a_{MPZ} wordt kleiner, F_{MPZ} wordt groter
- F a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} blijft gelijk
- G a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt kleiner
- H a_{MPZ} wordt groter, F_{MPZ} wordt groter

voor Peer Discussion:

95%

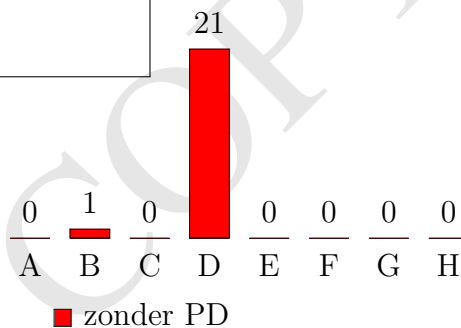
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

D

Les 8, ConcepTest M



- N1 1 In de 17e eeuw probeerde Otto van Guricke twee halve bollen uit elkaar te trekken met aan beide zijden 8 paarden.



Als hij alle paarden aan 1 kant had gezet en de andere kant aan een boom had vastgebonden, dan was de spankracht in het touw:

- A verdubbeld.
- B hetzelfde.
- C gehalveerd.

voor Peer Discussion:

95%

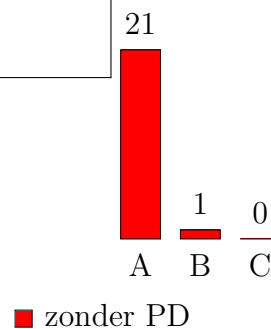
na Peer Discussion:

n.v.t.

goede antwoord:

A

Les 8, ConcepTest N



Appendix G: Script voor les met stemkastjes

Het onderstaande script beschrijft alle stappen die doorlopen moeten worden in de Notebook software tijdens het doen van ConcepTests. Dit script gaat ervan uit dat ieder les hetzelfde Notebook bestand gebruikt wordt. Dit Notebook bestand bevat alle varianten van de mogelijke vragen. Dus èèn vraag met twee meerkeuze-antwoorden, èèn vraag met drie meerkeuze-antwoorden, èèn vraag met vier meerkeuze-antwoorden, etc.

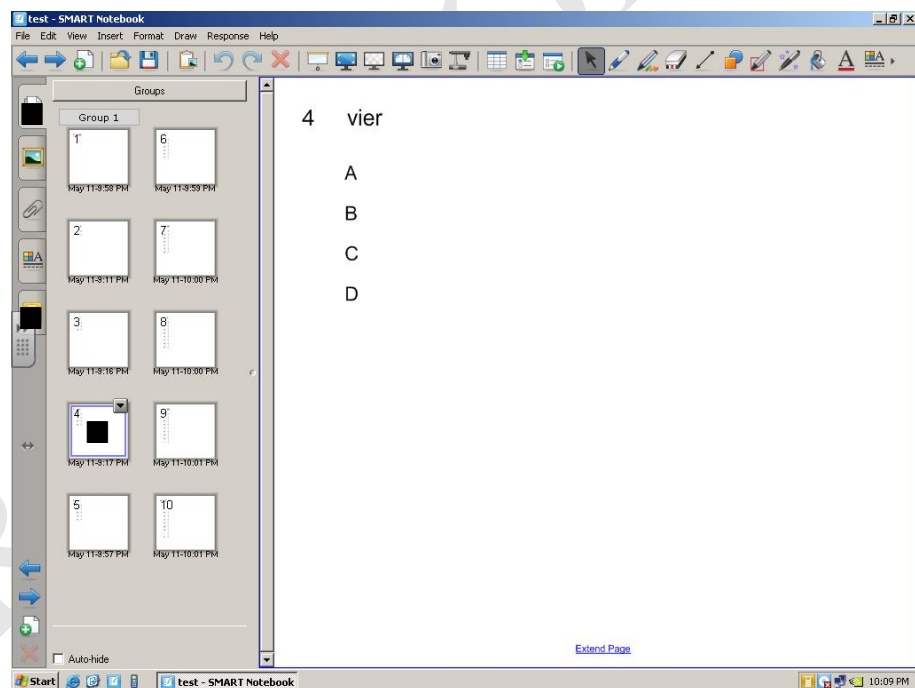
Als de klas is opgestart en de leerlingen zijn anoniem ingelogd, dan kan het Notebook bestand worden opgestart. Daarna kan worden begonnen met de eerste vraag,

- Selecteer de “page sorter“-tab. De “page sorter“-tab is geselecteerd in onderstaand plaatje.
- Selecteer een vraag. In het plaatje is een vraag met vier meerkeuze-antwoorden geselecteerd.

page sorter
tab

response tab

geselecteerde
vraag



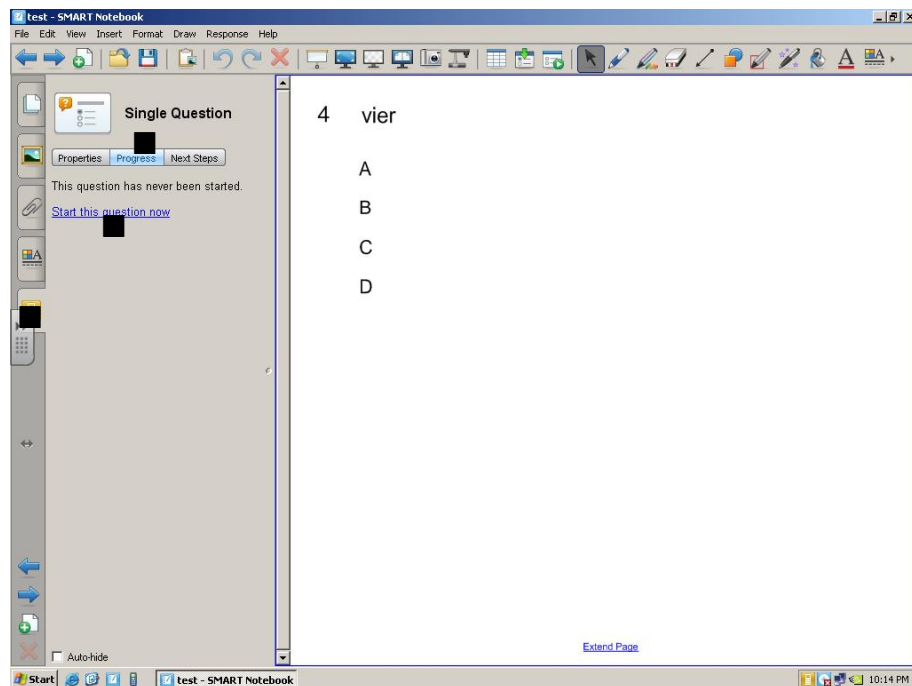
- Selecteer de “respons“-tab. De “response“-tab is geselecteerd in onderstaand plaatje.

Appendix G: Script voor les met stemkastjes

- Selecteer de “progress“-tab. De “progress“-tab is geselecteerd in onderstaand plaatje.
- Klik op “Start this question now“.

progress tab

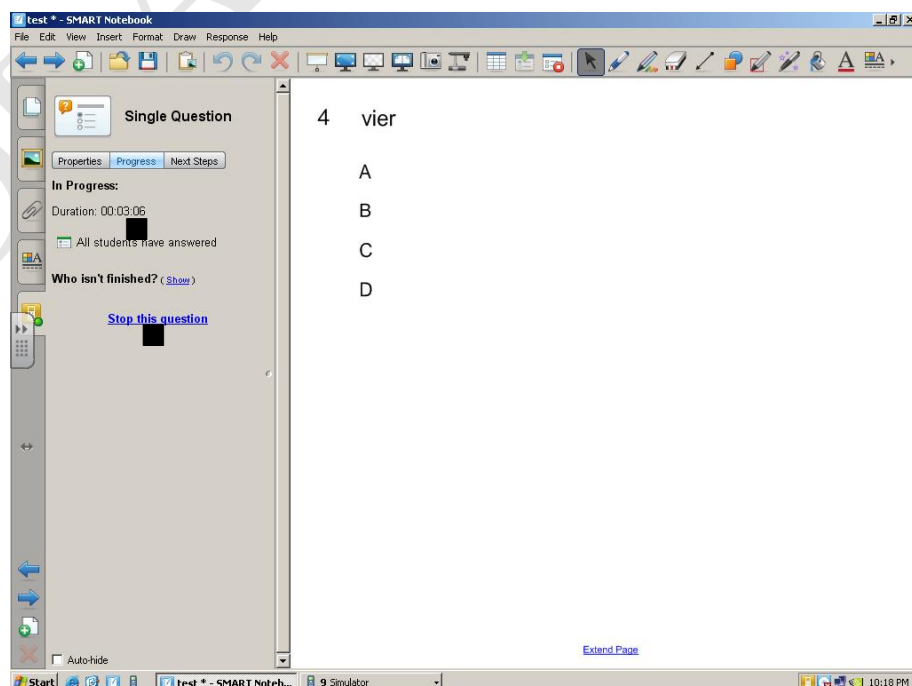
Start this
question now
response tab



Terwijl de leerlingen nu een antwoord kunnen intypen op de stemkastjes is de “Start this question now“-link veranderd in een “Stop this question“-link. In beeld staat informatie over hoeveel leerlingen al antwoord hebben gegeven.

informatie

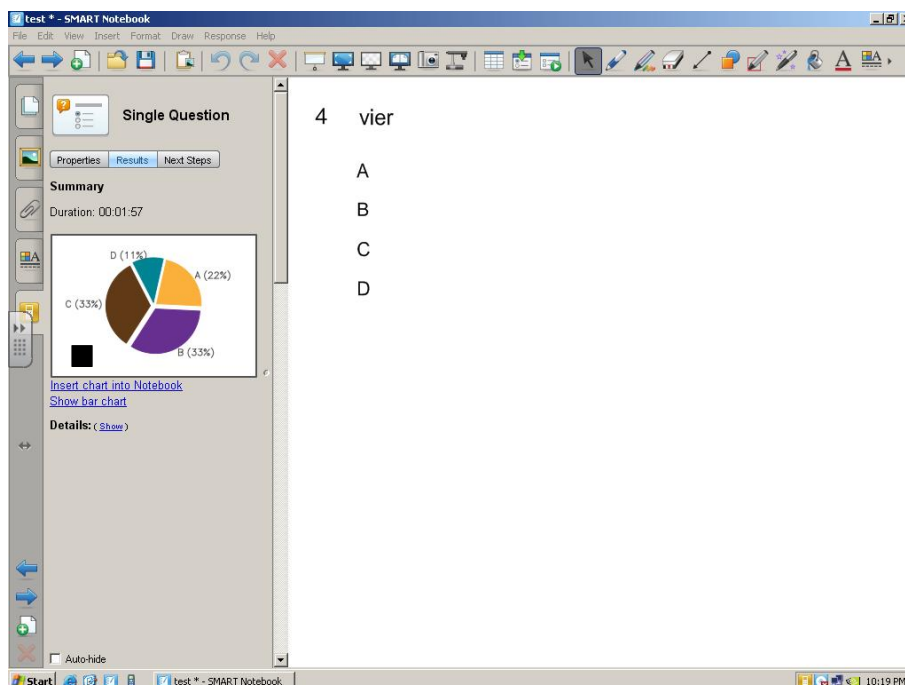
Stop this
question



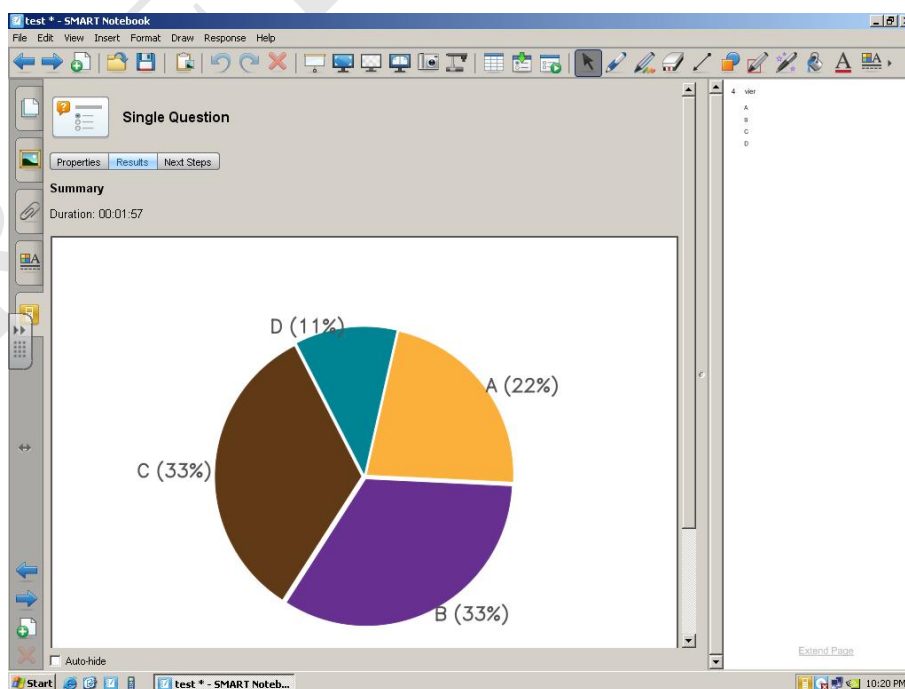
Appendix G: Script voor les met stemkastjes

- Klik op “Stop this question” als de leerlingen klaar zijn. Daarna zijn resultaten te zien zoals in onderstaand plaatje.

resultaten



De resultaten kunen ook uitvergroot worden.



Het is verstandig om de resultaten nu op papier over te nemen.

Appendix G: Script voor les met stemkastjes

Omdat er later wellicht nog een keer een vraag gesteld gaat worden met vier meerkeuze-antwoorden is het zaak om de resultate nu alvast te wissen.

- Klik op de “next steps“-tab. De “next steps“-tab is geselecteerd in onderstaand plaatje.
- Klik op de “clear results“-link.
- Klik op “OK“.

Daarna kan weer vooraan begonnen worden.

next steps

clear results

