

# **Van helder schrijven ga je helder denken**

T. Susan

Studentnummer. 9407189

Natuurkunde

Verslag Onderzoek van Onderwijs

6 mei 2019

## Samenvatting

Het resultaat van de leerlingen van 6 vwo op hun eerste schoolexamen natuurkunde lag lager dan door de docent was verwacht. Daarbij deden de antwoorden op de vragen van het schoolexamen vermoeden dat de kennis wel bij de leerlingen aanwezig was. Dit was reden voor onderzoek naar waar de leerlingen hun punten laten liggen op het schoolexamen en een instrument om dat puntenverlies van de leerlingen te beperken. Door een schoolexamen te analyseren kwam naar voren dat de meeste punten bleven liggen bij begripsvragen. Na een verkenning van de situatie op school en relevante literatuur is gekozen om een bestaande lessenserie redeneervaardigheden aan te passen en in te zetten voor natuurkunde voor deze 6 vwo-klas. Resultaat was dat na inzet van dit instrument de behaalde punten op begripsvragen significant ( $p < 0,05$ ) is verbeterd. Ook de wijze van antwoorden op de begripsvragen is na de inzet van het instrument significant ( $p < 0,05$ ) veranderd. Echter om dit resultaat enkel aan het instrument toe te schrijven is meer onderzoek noodzakelijk.

## Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
Inhoudsopgave .....	3
Oriënteren .....	4
Richten.....	4
Planning.....	5
Verzamelen.....	6
Verkenning Literatuur .....	6
Verkenning onderwijssituatie, .....	6
Verkenning lessituatie.....	8
Analyse en conclusie .....	9
Ontwerpen .....	10
Brainstorm.....	10
Evaluatie aan de hand van de eisen .....	10
Waar ligt het tekort van de leerlingen? Het aanscherpen van de eerste eis.....	11
Tijdsplanning? Aanscherpen van de tweede en derde eis.....	11
Conclusie: keuze voor een idee.....	12
Ontwerp van prototype:.....	12
Eerste opzet.....	12
Evaluatie van het prototype door experts .....	13
Aanpassing prototype, eindversie.....	13
Inzet prototype.....	14
Inzet tijdens de les.....	14
Overweging inzet.....	14
Evaluatie prototype .....	15
Evaluatie op resultaat.....	15
Evaluatie op methode .....	15
Kwalitatieve evaluatie door leerling interview .....	17
Algehele conclusie.....	17
Discussie .....	18
Eigen waardering.....	19
Aanbevelingen.....	20
Bijlagen .....	22

## Oriënteren

Na het eerste schoolexamen natuurkunde van 6 vwo op het Stedelijk Lyceum afdeling Zuid in Enschede, kwam vanuit de docent opmerking dat de leerlingen minder goed hebben gescoord op hun eerste schoolexamen dan hij had verwacht. Hij vroeg zich af waar dat aan lag.

Om een idee te vormen van hoe de leerlingen voor het schoolexamen geleerd hebben, heeft hij een online survey gehouden. Daarin vroeg hij hoe de leerlingen de voorbereiding van het examen hebben gedaan. Daarin gaven de leerlingen aan er voor hun gevoel veel tijd in te hebben gestoken en dat te hebben besteed aan het maken van samenvattingen en oud-examenopgaven.

Een van de zaken die de docent opviel in de antwoorden van het schoolexamen, was dat de antwoorden niet altijd aansloten op de vraag. In het antwoord hadden de leerlingen dikwijls van alles op geschreven wat verband hield met de vraag, alleen niet als een logisch antwoord op de vraag. Wat maakte dat de leerlingen niet het maximale aantal punten op de vraag scoorden.

Alle examenstof is tijdens de lessen voor het schoolexamen aan bod gekomen. Alle examenonderwerpen zijn daarin behandeld met voorbeelden die soms dicht bij de examenvragen lagen. Tijdens deze lessen was er een actieve participatie van de leerlingen.

Hierdoor ontstond het vermoeden dat de kennis van de stof bij de leerlingen aanwezig is. Dit riep de vraag op: waarom de leerlingen niet hoger hebben gescoord op hun schoolexamen? De docent had graag gezien dat de behandeling van de examenstof en actieve participatie hadden geleid tot een hogere score op het schoolexamen.

De discrepantie tussen de inzet van de leerlingen in de les en zelfstudie en het behaalde resultaat op het schoolexamen intrigeert. Gemakkelijk wordt aangenomen dat een goed cijfer op je centraal schriftelijk examen betekent dat je dan de stof goed beheerst. Maar kunnen de leerlingen de stof ook beheersen terwijl ze een slecht resultaat op de examens haalt? De docent gaf aan dat hij dit onderwerp graag onderzocht ziet.

Omdat het jaar van de leerlingen van 6 vwo al was begonnen, bestond niet alleen de wens om dit te onderzoeken, maar ook om hier vlot een oplossing voor te vinden. Zo dat de leerlingen iets aan deze oplossing hebben voor het komende centraal schriftelijk examen. Hieruit is het doel van dit onderzoek geformuleerd: "Het ontwerpen van een instrument om het puntenverlies op het schoolexamen natuurkunde van 6 vwo beperken". Daarbij wordt een antwoord gezocht op de vraag: "Wat zijn de karakteristieken van een te ontwerpen instrument dat als doel heeft het puntenverlies op het schoolexamen natuurkunde te beperken voor 6 vwo van het Stedelijk Lyceum afdeling Zuid?"

## Richten

Als de leerlingen het maximale aantal punten willen scoren op hun examen, moeten ze de antwoorden geven die volgens het correctievoorschrift gewenst zijn. Daarom is het voor de leerlingen van belang om op een effectieve manier van de vraag naar het juiste antwoord te komen. Aangenomen dat de benodigde kennis aanwezig is voor het antwoord op de vraag, kun je je voorstellen dat de vraag op verschillende manieren te benaderen is. Voor dit onderzoek is daarom de

volgende vraag belangrijk: “Hoe kan een vraag op een schoolexamen natuurkunde het beste methodisch aangepakt worden om er maximaal op te kunnen scoren?”

Ook is het noodzakelijk om beter zicht te krijgen op waar de leerlingen de punten laten liggen. Wanneer het duidelijk is waar gemiddeld de minste punten op wordt gescoord, kunnen er scherpere eisen gesteld worden aan het instrument. Daardoor wordt de kans op een effectieve verbetering groter. Daarom stellen wij de vraag: “Op wat voor soort vraag behalen de leerlingen relatief de minste punten?”

De situatie van 6 vwo kan niet over het hoofd gezien worden. Deze klas is in sneltreinvaart op weg naar het eindexamen. Na afronding van het eerste schoolexamen resteren twee schoolexamens voordat in mei 2019 zich het Centraal Schriftelijk Eindexamen aandient. Daarbij komt dat de docent niet te veel af wil wijken van de examenvorbereiding die “regulier” wordt aangeboden. Voor het te ontwerpen instrument rijst de vraag: “Aan welke eisen moet het instrument voldoen om in de 6 vwo-klas zowel door de docent implementeerbaar te zijn als voor de leerlingen een potentiële meerwaarde te bieden in de voorbereiding op het examen.”

Het is de bedoeling om het instrument in te zetten in de lespraktijk. Door de resultaten op de schoolexamens, voor en na het inzetten van het instrument te vergelijken kan er indicatie worden gegeven over de effectiviteit van het instrument. De vraag die hierbij gesteld wordt is: “Hoe zijn de resultaten van de leerlingen veranderd na het inzetten van het instrument?”

## Planning

Verkenning (t/m 4 feb 2019)	Allereerst zal er in een verkenning een antwoord gezocht worden op de hier bovengenoemde vragen. Een deel van deze antwoorden zal in de literatuur gezocht worden. De vragen die aan de onderwijssituatie gebonden zijn, zullen verkend worden in gesprek met de betrokkenen van de school.
Eisen (t/m 11 feb 2019)	De verkenning resulteert in een pakket van eisen die voor het te ontwerpen instrument zullen gelden. Om zeker te zijn dat de eisen conform de wensen van de school zijn worden deze geëvalueerd met de school, alvorens gebruikt te worden voor het ontwerp.
Genereren ideeën (t/m 18 feb 2019)	Met het doel als richtlijn wordt een aantal ideeën gegenereerd en uitgewerkt als mogelijk instrument. Deze ideeën worden per stuk getoetst aan de eisen die uit de verkenning naar voren zijn gekomen. Waarna het idee dat het beste voldoet, wordt uitgewerkt tot een prototype.
Het prototype (t/m 25 feb 2019)	Het prototype wordt ontwikkeld met behulp van de beschikbare literatuur. Op dit prototype wordt feedback gevraagd door kundige en ervaren professionals. Hiermee wordt het prototype aangescherpt.
Implementatie (25 feb – 15 mrt 2019)	Inzet van het prototype is in de periode vóór het derde schoolexamen. Tijdens de inzet in de klas worden de leerlingen geobserveerd bij het gebruik van het prototype.
Evaluatie (5 apr)	Van het tweede en het derde schoolonderzoek worden de score op de betreffende vragen onderzocht op vooruitgang. Ook zal er een kwalitatieve analyse in de vorm van een interview met de leerlingen plaatsvinden om na te gaan hoe zij het prototype hebben ervaren.

Tabel 1: Planning onderzoek

## Verzamelen

### Verkenning Literatuur

Er is veel onderzoek gedaan naar het verschil tussen experts en beginners in het beantwoorden van natuurkundige vragen. Larkin et al. geeft aan dat het belangrijkste verschil tussen deze twee is dat de experts een grotere hoeveelheid kennis hebben van de stof dan beginners (1). Het gaat daarbij vooral om de oplosstrategie die de experts volgen om antwoord te geven, welke gerelateerd is aan de grotere hoeveelheid kennis. Uit onderzoek blijkt dat de experts bij het oplossen een oplossingsstrategie kiezen die te maken heeft met de “dieperliggende natuurkundige principes” die ten grondslag liggen aan de vraag. Beginners kiezen daarentegen vaker voor een oplosstrategie, gebaseerd op “uiterlijke kenmerken” van de vraag (2,3). Wanneer beginners een oplosstrategie gebruiken waarbij ze zoeken naar onderliggende natuurkundige principes, hebben ze meer succes dan beginners die een oplosstrategie gebruikten op basis van uiterlijke kenmerken (3).

Oplosstrategieën van natuurkundige vraagstukken zijn veel onderzocht (4,5,6,7,8). De meeste onderzoeken komen daarbij uit op de algemene oplosstrategie van min of meer dezelfde vijf stappen. 1) Interpreteer de vraag. 2) Identificeer variabelen, onbekenden en randvoorwaarden. 3) Plan oplosroute. 4) Voer oplosroute uit. 5) Check het antwoord. Er zijn per vakgebied binnen de natuurkunde ook afwijkende oplosstrategieën, waarbij de specifiekere kennis van het vakgebied een belangrijkere rol speelt (9,10,11). Oplosstrategieën hebben als doel om de vraag te doorgronden en via de theorie tot het juiste antwoord te komen. Ze lopen van vraag naar antwoord en zijn breed toepasbaar.

Dirken maakt (12) een onderscheid tussen natuurkundige kennis en toetsvaardigheid. Hij liet doormiddel van een toetsevaluatieformulier de leerlingen het proces van hun “probleem oplossen” evalueren. Dirken beschouwd hierbij het antwoord als het doel en de toetsvaardigheid de vaardigheid om tot een maximale score te komen. Toetsvaardigheid kan wat dat betreft worden gezien als een specifiekere aanpak dan een algemene oplosstrategie.

Om een inhoudelijk beter antwoord te krijgen op vragen waarbij begrip wordt getoetst, beschrijft Visser (13,14,15,16) een lessenserie redeneervaardigheden. Zij laat in haar lessenserie toetsvragen taalkundig analyseren door doe- (opdracht) en puntwoorden (vaktermen) te onderscheiden. De gevonden puntwoorden worden uitgeschreven. Bij het formuleren van een slotzin voegt de leerling aan de hand van het doe-woord, de uitleg van de puntwoorden samen met een signaalwoord tot een zinnig en juist antwoord op de vraag. Het signaalwoord heeft hierbij de functie om de slotzin een logisch geheel te laten zijn.

### Verkenning onderwijssituatie,

Het afnemen van vragen in een schoolexamen of Centraal Schriftelijk Examen is een reguliere manier waarop leerlingen getoetst worden, op deze en andere scholen. Daarvoor moeten de leerlingen zowel de theorie beheersen, als vaardigheid hebben in het goed lezen en beantwoorden van vragen. Aan deze antwoorden worden punten toegekend op de manier die het correctievoorschrift voorschrijft.

Schoolexamens(SE) beginnen in het vierde jaar van het vwo. De leerlingen maken tijdens de vier examenweken per jaar een schoolexamen natuurkunde. Het gemiddelde van deze vier examens vormt het eindcijfer voor de leerling in 4 vwo. Voor het eindcijfer van 5 vwo telt het eindcijfer van 4

vwo even zwaar mee in het gemiddelde als elk van de vier schoolexamens die dat jaar gemaakt worden. Het eindcijfer voor natuurkunde in 6 vwo wordt voor 50% bepaald door het gemiddelde van de drie schoolexamens tijdens 6 vwo *plus* het eindcijfer van 5 vwo *en* voor 50% door het resultaat op het Centraal Schriftelijk Examen Natuurkunde (CSE-Na). (Tabel 2)

$$\begin{aligned} \text{eindcijfer } V4 &= \text{gemiddelde } \Sigma SE_{V4} \\ \text{eindcijfer } V5 &= \text{gemiddelde } (\Sigma SE_{V5} + \text{eindcijfer } V4) \\ \text{eindcijfer } V6 &= 50\% \times CSE_{Na} + 50\% \times \text{gemiddelde } (\Sigma SE_{V6} + \text{eindcijfer } V5) \end{aligned}$$

Tabel 2: Berekening eindcijfer vwo

De algehele voorbereiding van natuurkunde begint in het tweede jaar op school. In de onderbouw krijgen de leerlingen NaSk waarin de algemene principes worden geleerd die ook tijdens het eindexamen gelden. Wanneer de leerling in de bovenbouw kiest voor natuurkunde in zijn profiel krijgt hij de stof die op het eindexamen bekend moet zijn. Het verwerven van deze stof is door de docent niet aangeduid als examenvoorbereiding. Pas waar het gaat over het behandelen van de lesstof die op het examen getoetst zal worden en binnen afzienbare tijd van het examen, wordt er gesproken over examenvoorbereiding.

Een normale examenvoorbereiding bestaat volgens vele docenten uit een groot aantal lessen. Daarbij wordt begonnen met het behandelen van de nieuwe kennis, geïllustreerd door demo's en uitleg. Deze wordt ingeoeffend met sommen en opgaven uit het boek. Daarna, waar nodig, een herhaling van de oude, reeds bekend geachte stof. Voor het schoolexamen worden er meerdere lessen besteed aan het maken van relevante examenopgaven. Deze examenopgaven worden door de leerlingen van elkaar nagekeken aan de hand van de geldende correctievoorschriften. Hierbij wordt uitleg gegeven over hoe de punten gescoord worden. Waarbij het achterliggende idee is dat hiermee de leerlingen zowel hun theorie oefenen als vaardigheid in antwoorden trainen.

Binnen het tijdsfad van het onderzoek vallen het tweede en het derde schoolexamen. Deze schoolexamens liggen negen weken uit elkaar. De schoolexamens bestaan uit 15 tot 20 vragen. Al deze vragen zijn bedoeld om te toetsen of de leerlingen over de juiste vaardigheden in, inzicht in en kennis van de natuurkunde hebben. Deze vaardigheden, inzicht en kennis zijn verwoord in de eindtermen voor natuurkunde (17). Deze schoolexamens kennen qua uiterlijk, opbouw en vraagstelling een grote overeenkomst met het CSE-Na. Uit een analyseren van het tweede schoolexamen (Bijlage 2 en 3) blijkt dat de vragen ruwweg in drie categorieën opgedeeld kunnen worden.

De eerste categorie van vragen zijn "begripsvragen". In deze vragen wordt de leerling gevraagd om een kwalitatief antwoord of een uitleg te geven op een geschetste situatie. Daarbij toont de leerling kennis van de natuurkunde principes, begrip van het jargon en vaardigheid in logisch redeneren. Voorbeelden van dit soort vragen: "Beredeneer op welke plek in de ellipsbaan om de zon de aarde zijn laagste snelheid heeft." of "Leg uit door middel van het ontbinden van de gravitatievector dat de snelheid van een object in een ellipsbaan niet constant is".

De tweede categorie bestaat uit "uitwerk vragen". Dit zijn vragen waarbij vaak op een antwoordblad een schematische tekening moet worden ingevuld of afgemaakt. In deze vraag wordt dus zowel kennis van de natuurkunde getoetst, als de vaardigheid om een schematische tekening te herkennen en aan te vullen. Maar ook kennis van weergaves van elementen in elektrische schema's en (kracht)vectoren. Voorbeelden van dit soort vragen: "Completeer in de uitwerkbijlage het schakelschema van het elektronenkanon." of "Tekenen in de uitwerkbijlage de baan, de snelheid en de werkende kracht."

De derde categorie van vragen die op het schoolexamen worden gesteld zijn “rekenvragen”. Bij rekenvragen wordt gevraagd naar een kwantitatief antwoord. Daarbij moet de leerling de omschreven situatie begrijpen, de juiste formule kunnen selecteren om te komen tot een antwoord en de vaardigheid om nauwkeurig en consequent te werken. Voorbeelden van dit soort vragen: “Bereken de ontsnappingssnelheid als de raket van de aarde wordt afgeschoten” of “Wat is de baansnelheid “v” waarmee de aarde om de zon heen draait”.

Wat opvalt aan deze drie categorieën vragen is dat het delen zijn van een totale oplosstrategie zoals de “five step problem solving strategy” (6) of de “basisheuristiek” van Van den Berg (7). Bij beide oplosstrategieën wordt aangegeven dat de eerste stap de analyse van het probleem moet zijn. Hierbij worden de geldende natuurkundige principes geëxpliciteerd en een schematische tekening gemaakt. Dit komt overeen met begrips- en uitwerkvragen.

### **Verkenning lessituatie**

De docent beschrijft de leerlingen als enthousiast. Zijn inschatting is dat de leerlingen minder goed zijn in natuurkundig begrip, maar redelijk zijn in rekenen en gebruik van formules. De leerlingen leren graag uit het boek of door het maken van oude tentamens. Demo’s en proeven vinden de leerlingen lastig te verwoorden, net zoals het “toepassen” van de theorie om een voorspelling te geven van een demo. Dit geldt voor het gemiddelde van de klas en niet voor iedereen. Door de meeste leerlingen wordt het vak als moeilijk ervaren. Zij vinden het lastig om zichzelf te motiveren om voor natuurkunde te leren. Er zijn echter ook een aantal leerlingen die het gemakkelijk af gaat.

De docent hoopt het gemiddelde cijfer voor het schoolexamen te verhogen. Daarbij zoekt de docent naar een optimale voorbereiding van de leerlingen voor het (eind)examen. De examenklas is een drukke tijd voor de leerlingen, geeft hij aan. Niet alleen wordt er nieuwe stof zoals ‘quantum’, ‘gravitatie’ en ‘modelleren’ voor het eerst aangeboden, maar ook moet hij door middel van het herhalen van de stof hiaten in de basiskennis vinden en opvullen ten einde de klas optimaal voor te bereiden voor het Centraal Examen.

De docent geeft aan dat hij de wijze van aanbieden van de natuurkundige stof regelmatig evalueert. Hij investeert erin om up-to-date te blijven door bijscholingen te volgen en congressen te bezoeken. Ook reflecteert hij regelmatig op zijn eigen inhoudelijk leerlijn aan de hand van vergelijking van resultaten van voorgaande jaren en intervisie met collega’s.

Waar het gaat om toetsvaardigheid geeft de docent aan dat hij dit impliciet aanleert. In de weken voor de schoolexamens laat hij de leerlingen oud examenopgaven maken. Deze laat hij de leerlingen van elkaar met het correctievoorschrift nakijken. Hiervan leren de leerlingen te “denken als een corrector”. Doordat de leerlingen op zoek gaan naar de antwoorden in het werk van hun medeleerling, leren ze waar de corrector in hun werk op let. Het inzien van eigen schoolexamens gebeurt ook met het correctievoorschrift waarbij de leerlingen worden aangemoedigd te reflecteren op hun toetsvaardigheid.

Voor het inzetten van een instrument, geeft de docent aan beperkt tijd beschikbaar te hebben in de reguliere lessen. Prettig zou zijn als het instrument ook bruikbaar is buiten de les. De wens is dat het onderzoek zich voltrekt in de tijdsspanne tussen het tweede en het derde schoolexamen. Wanneer er op basis van het tweede schoolonderzoek conclusies kunnen worden getrokken waar de leerlingen “punten laten liggen”, dan kan er na de voorjaarsvakantie een prototype liggen om dit tekort te verhelpen. Er kan dan nog een aantal lessen mee worden geoefend voordat het derde schoolexamen zich aandient. Een conclusie kan dan getrokken worden op basis van het verschil tussen de scores op



het tweede en derde schoolexamens. Daarna kunnen de leerlingen het prototype gebruiken om te oefenen voor het CSE-Na.

## **Analyse en conclusie**

Het doel van dit onderzoek is een instrument te ontwikkelen dat het puntverlies van de leerlingen van het 6 vwo op hun examens natuurkunde beperkt. Dit komt overeen met de wens van de docent voor een effectief instrument om het gemiddelde cijfer voor de schoolexamens te verhogen.

Uit de verkenning van de literatuur blijkt dat: het vergroten van de algehele natuurkundige kennis, het aanleren van oplosstrategieën, het trainen van de toetsvaardigheid en het verbeteren redeneervaardigheid kunnen bijdragen aan een betere score. Bovenstaande punten kun je zien als drie niveaus van kennis en vaardigheden die steeds specifiekere worden. Van de algehele kennis natuurkundige kennis is kennis van een algemene oplosstrategie een onderdeel. Toetsvaardigheden, het kunnen formuleren van antwoorden op de verschillende begrips-, uitwerk- en rekenvragen, zijn vaardigheden die je moet bezitten om de oplosstrategie naar een goed einde te brengen. Redeneervaardigheden is een onderdeel van toetsvaardigheid die zich specifiek richt op begripsvragen.

Van de bovenstaande punten is het vergroten van de algehele natuurkundige kennis het doel van het gehele curriculum. Het is daarmee een te groot item is om te verbeteren in korte tijd. De andere punten kunnen wel worden geoefend. Om het instrument effectief te laten zijn is het verstandig om het te richten op de punten waar de klas de meeste ruimte voor verbetering heeft. De focus van het instrument is dus belangrijk en dient onderzocht te worden.

Daarbij is er maar weinig tijd beschikbaar gedurende de lessen voor de leerlingen die midden in hun examenjaar zitten. Het instrument moet de normale examenvorbereiding niet verstoren maar een toevoeging zijn die makkelijk te introduceren is. Wanneer het instrument zelfstandig te gebruiken is kost dat minder lestijd en kunnen de leerlingen er ook thuis mee oefenen.

*De ontwerpeisen samengevat:*

1. Focus op het tekort van de leerling.
2. Aanvulling op het vaste curriculum
3. Snel en eenvoudig inzetbaar in de les
4. Weinig uitleg aan leerlingen noodzakelijk
5. Door de leerlingen zelfstandig te hanteren
6. Thuis toepasbaar/ handzaam
7. Leerlingen hebben er wat aan, het leidt tot beter cijfer

*Controle van de ontwerpeisen.*

Dit pakket van eisen is in een gesprek teruggekoppeld met de docent die zich hierin kon vinden en geen aanvulling had.

## Ontwerpen

### Brainstorm

Met de doel in het achterhoofd is brainstorm gestart met als doel om een inzetbaar instrument te vinden. Het literatuuronderzoek was leidend als inspiratie in die brainstorm.

Idee 1. Five step solving strategy.

Eerder bewezen door Heller (6) is deze strategie een algemene aanpak om natuurkundige vragen op te lossen. Door de leerlingen deze strategie aan te leren en te laten hanteren bij het oplossen van vragen kan de kwaliteit van de antwoorden verbeterd worden.

Idee 2: Toetsevaluatie

Door de leerlingen hun toetsen te laten evalueren zoals in de methode die Dirken (12) hanteert, krijgen leerlingen zicht op hun persoonlijke verbeterpunten en kunnen ze gericht hun toetsvaardigheden verbeteren.

Idee 3: Redeneervaardigheid

Door de redeneervaardigheden van leerlingen te zoals in de methode van Visser (13,14,15) kan verwacht worden dat de score op begripsvragen wordt verbeterd.

### Evaluatie aan de hand van de eisen

Idee 1: Five step solving strategy	
Eis 1	De alles omvattende strategie is algemeen.
Eis 2	Is een aanvulling op het curriculum
Eis 3	Deze strategie is lastig om te leren en vereist ook een behoorlijk kennisniveau van de leerling. Verwachting is dat deze niet snel inzetbaar is.
Eis 4	Aanleren van de strategie vergt veel uitleg.
Eis 5	Verwachting is dat de strategie in eerste instantie niet zelfstandig gebruikt kan worden.
Eis 6	Mits duidelijk uitgewerkt en geïntroduceerd is de strategie thuis toe te passen, maar deze is niet handzaam.
Eis 7	Waarschijnlijk wel

Tabel 3: Toetsing idee 1 aan eisen

De five step solving strategy is een strategie waarvan is bewezen dat deze op natuurkundige vragen een goed antwoord kan genereren. Deze is echter niet snel aan te leren en in de aanleerfase zeker niet zelfstandig te gebruiken. (Tabel 3)

Idee 2: Toetsevaluatie	
Eis 1	Ja. Deze methode heeft als kenmerk dat de leerlingen er achter komen waar hun verbeterpunt ligt.
Eis 2	Is een aanvulling op vaste curriculum.
Eis 3	Voor de toetsevaluatie moeten de leerlingen een toets hebben gemaakt. Het tweede schoolexamen is hiervoor te gebruiken. Inzet is niet snel maar kan met goede voorbereiding wel eenvoudig zijn.
Eis 4	De uitleg van een toetsevaluatieformulier, het nakijken van de eigen toets en de reflectie naar eigen verbeterpunten zal veel tijd kosten.
Eis 5	Ja, Leerlingen kunnen zelf hun eigen toets evalueren.

Eis 6	Na goede uitleg thuis toepasbaar wanneer de leerlingen een groot deel van een oefenexamen thuis hebben gemaakt. Dus gebruik kost veel tijd daarom niet zo handzaam.
Eis 7	Zeer waarschijnlijk wel

Tabel 4: Toetsing idee 2 aan eisen

Deze methode lijkt geschikt en heeft een duidelijk focus op waar de leerlingen zichzelf zouden moeten verbeteren. Daarom is er een dus grote kans op een positief resultaat. Echter, voor het wordt toegepast moet je een heel examen hebben gemaakt. Het is daarom niet snel toepasbaar. (Tabel 4)

Idee 3: Redeneervaardigheid	
Eis 1	Bruikbaar wanneer blijkt dat leerlingen moeite hebben met het verwoorden van antwoorden op begripsvragen.
Eis 2	Is een aanvulling op het curriculum
Eis 3	Is snel en eenvoudig inzetbaar.
Eis 4	Vergt weinig uitleg.
Eis 5	Na de uitleg is het zelfstandig te hanteren.
Eis 6	Zowel in de klas als thuis te hanteren.
Eis 7	Wanneer verwoorden van een antwoord een tekort is van de leerlingen, dan is de verwachting dat dit leidt tot een verbetering

Tabel 5: Toetsing idee 3 aan eisen

Dit idee is een aanvulling op het curriculum wanneer het tekort van de leerling ligt op het verwoorden van de antwoorden op begripsvragen. Dit idee is makkelijk in de les en thuis inzetbaar en neemt qua uitleg niet veel lestijd in beslag. (Tabel 5)

### Waar ligt het tekort van de leerlingen? Het aanscherpen van de eerste eis.

Om erachter te komen waar het tekort van de leerlingen ligt, is het tweede schoolonderzoek geanalyseerd. Dit is gedaan door de vragen van het schoolonderzoek op te splitsen in drie categorieën. Voor elk van die vraagcategorie op het schoolexamen is een relatieve score berekend. Deze score is berekend door de totale score op de vragen uit die categorie van de hele klas te delen door het maximaal aantal punten dat de hele klas had kunnen scoren. Hieruit komt een cijfer tussen nul en één dat representatief is voor hoe goed de klas deze vraagcategorie heeft gemaakt. (Bijlage 3)

Door de relatieve score van de vraagcategorieën te vergelijken kun je ontdekken op welke soort vragen de klas het slechtste scoort. De gewenste focus van het instrument is dan op het soort vragen dat het slechtste scoort. Wanneer de scores op de verschillende vraagcategorieën gelijk zijn kan voor een meer algemene focus worden gekozen.

Resultaat van de analyse is dat de leerlingen voor begripsvragen 0,19, voor uitwerkvragen 0,41 en voor rekenvragen 0,37 hebben gescoord (Bijlage 3). Hieruit blijkt een duidelijk tekort op de begripsvragen.

Conclusie is dat de eerste ontwerpeis kan worden aangescherpt. De focus van het instrument moet komen te liggen op oplossen van begripsvragen.

### Tijdsplanning? Aanscherpen van de tweede en derde eis

Tussen schoolexamen twee en drie zitten in totaal zeven weken, waarvan één week voorjaarsvakantie. De eerste vier weken worden gebruikt voor de keuze van het idee en het uitwerken en verbeteren van het idee tot een prototype, zodat het in de klas kan worden ingezet.

Voor de inzet van het prototype is de tijd tussen de voorjaarsvakantie en het derde schoolexamen beschikbaar.

Voor de inzet van het prototype zijn drie weken beschikbaar. Iedere week hebben de leerlingen dinsdag een enkel uur en vrijdag een dubbel uur. Tijdens de eerste twee weken is het dubbel uur van vrijdag bedoeld om computer practicum te doen. De dinsdag is bedoeld om de natuurkundige kennis voor het practicum op te frissen. In de laatste week is de vrijdag bedoeld om een oefenexamen te maken, waarvoor dinsdag de kennis nogmaals wordt herhaald. Dat heeft tot gevolg dat het prototype ingezet kan worden op de drie dinsdagen mits de stof die behandeld moet worden, wordt gebruikt.

De aangescherpte ontwerpeisen kunnen daarom geformuleerd worden als:

1. *Focus op verbetering van antwoorden op begripsvragen*
2. *Aansluitend op de theorie gepland in het curriculum*
3. *In drie lessen te behandelen en oefenen.*
4. *Weinig uitleg aan leerlingen noodzakelijk*
5. *Door de leerlingen zelfstandig te hanteren*
6. *Ook thuis toepasbaar / handzaam*
7. *Leerlingen hebben er wat aan, het leidt tot beter cijfer*

### **Conclusie: keuze voor een idee**

Op de focus op verbetering van antwoorden op begripsvragen, sluit idee drie het beste aan. Ook is idee drie goed inzetbaar in de klas en een aanvulling op het curriculum. Het kost van de ideeën de minste tijd aan uitleg en is snel inzetbaar en toepasbaar. De drie dinsdag die er voor beschikbaar zijn, moeten voldoende ruimte bieden voor uitleg en oefening. Ideeën één en twee zijn hiermee vergeleken te algemeen gericht en kosten naar verhouding te veel tijd. Idee drie, zal daarom worden uitgewerkt tot een prototype om toe te passen in de klas.

## **Ontwerp van prototype:**

### **Eerste opzet**

Het prototype wordt gebaseerd op de lessenserie : "Een goed geformuleerd juist antwoord bij scheikunde en biologie" van T. Visser (13,14,15). Deze lessenserie is gepubliceerd in drie delen in de NVOX, het blad van de Nederlandse Vereniging van Onderwijs in de Natuurwetenschappen(NVON). De lessenserie beschrijft een methode om de redeneervaardigheden van de leerlingen te verbeteren met als resultaat inhoudelijk beter geformuleerde antwoorden op toetsvragen.

Het prototype krijg de vorm van één les en twee werkopdrachten waarin de methode kan worden toegepast, zoals die door Visser is gebruikt voor de lessenserie voor scheikunde. De naam die in dit onderzoek voor de methode wordt gebruikt, is: "Van helder schrijven ga je helder denken". Deze quote komt van de poster van het onderzoeksplan van Visser(18) en verwoordt het doel van de lessenserie voor de leerlingen uitstekend.

Deze originele lessenserie is geschreven voor havo-4-leerlingen en uitgewerkt in drie lessen. Deze drie lessen zijn herschreven naar één les en oefenvragen voor 6 vwo-leerlingen. Daardoor worden een aantal praktische oefeningen overgeslagen die tijdens de originele lessenserie worden gedaan. Het gaat om oefeningen zoals de groepsdiscussie over de puntwoorden en doe-woorden en het

puntwoorden-spel. De oefening in de laatste les van de originele lessenserie, het oefenen met vragen volgens de nieuwe methode is wel over genomen. Deze inkrimping is gedaan om de benodigde tijd te verkorten en de inzetbaarheid te vergroten, zodat deze in beschikbare tijd uitvoerbaar is. De verwachting is dat leerlingen van 6 vwo minder oefening nodig zullen hebben dan leerlingen van havo 4 en dat ze zich de methode eigen kunnen maken, ondanks de inkrimping van de lessenserie.

Het prototype (Bijlage 4) bestaat uit drie momenten. Het eerste moment bestaat uit een les waarin de methode wordt geïntroduceerd. Tijdens deze les wordt een werkblad uitgedeeld waar de methode op staat. Dit wordt toegelicht en tijdens de les geoefend met vragen. Het oefenen van de methode met vragen wordt gedaan in tweetallen, waarbij de leerlingen wordt gevraagd elkaar uit te leggen wat het juiste antwoord is. Deze les staat in het teken van het eigen maken van de methode.

Voor het tweede en derde moment zijn twee vragenbladen gemaakt met betrekking tot de stof die tijdens die les behandelt dient te worden. De antwoorden van deze vragen zijn uitgewerkt volgens de methode en beschikbaar voor de leerlingen. Deze vragen zijn makkelijk inzetbaar tijdens de les, gericht op de noodzakelijke kennis en oefenen de methode bij de leerlingen tegelijkertijd.

## **Evaluatie van het prototype door experts**

De eerste opzet van het prototype is voorgelegd aan vakdocent T. Visser op 12 februari 2019. Daaruit kwam terug dat de methode in de eerste opzet van het prototype afweek van originele methode zoals deze is gebruikt voor de lessenserie voor NVOX. De bedoeling van de originele methode is om deze eenvoudig en op de taal gericht te houden en minder op de inhoud. Het advies was om de inhoudelijke punten in de “aanpak” te verwijderen en om de methode zo eenvoudig mogelijk te houden met zo min mogelijk stappen.

Tijdens de evaluatie van het prototype meldde Visser dat zij voor haar lessenserie een methode-evaluatie had ontwikkeld om te toetsen of de leerlingen meer via de methode zijn gaan werken. Zij heeft deze eerder toegepast op haar school “CSG Het Noordik”. Deze methode-evaluatie is gebaseerd op het scoren van de relevante woorden en juistheid van die woorden in het antwoord. Deze methode-evaluatie kan aantonen of de manier van antwoorden van de leerlingen na inzet van het prototype is veranderd.

De feedback van de vakdocent op de eerste opzet van het prototype was organisatorisch. De vakdocent gaf aan dat hij het prototype graag opgedeeld zag in een werkblad, twee vragenbladen en twee antwoordbladen die los van elkaar uit te delen zijn. Hiermee wordt het inzetten flexibeler en daardoor makkelijker te gebruiken in de les. Ook was er de wens om meer vragen voor de vragenbladen te formuleren.

### **Aanpassing prototype, eindversie**

De adviezen die voorkwamen uit de expert-evaluatie hebben geleid tot aanpassingen van het prototype tot de eindversie. (Bijlage 5) De methode-evaluatie is een waardevolle manier om extra informatie te verzamelen over het resultaat van de inzet van het prototype. Deze zal gebruikt worden om resultaten van de inzet van het prototype te evalueren.

## **Inzet prototype**

### **Inzet tijdens de les**

26 februari 2019 is de het prototype in de les ingezet. Kort is aan het begin van de les het nut en de verwachte meerwaarde van de methode uitgelegd. Daarna is de methode geïntroduceerd en is gewerkt met het werkblad en het vragenblad. De introductie van de methode duurde niet langer dan een halve les. De leerlingen hadden geen moeite met het begrijpen van de methode of het gebruik van het werkblad.

Tijdens het zelfstandig werken met de methode bleek dat de klas onrustig was. Verwachting is dat dit kwam, omdat de dag ervoor een herexamen natuurkunde was gemaakt door de hele klas. Nadat er later wat rust in de klas kwam, lukte het om te werken met de vragen. Dit ging eerst zelfstandig, daarna in duo. De docent merkte op dat, terwijl de klas met de methode werkte, hij duidelijk zag waar de leerlingen moeite mee hadden. De vragen die niet beantwoord waren, zijn op het einde van de les als huiswerk opgegeven om digitaal ingeleverd te worden. Hiervoor hadden ze de tijd tot aan vrijdag.

Het huiswerk van die vrijdag is online door twee van de tweeëntwintig leerlingen ingeleverd. Dit is niet genoeg om conclusies aan te verbinden, maar het geeft wel een indicatie. De antwoorden waren volgens methode uitgewerkt. De doe- en puntwoorden waren gemarkeerd, de puntwoorden uitgelegd en een slotzin met signaalwoord geformuleerd. De slotzin was niet altijd een consistente of inhoudelijk correcte redenering. Wat opviel was dat de kennis van een verschillende specifieke puntwoorden niet op orde was. Waaruit de onderzoeker verwacht dat de vakkennis, ondanks dat de vragen een herhaling van de stof betroffen, onvoldoende werd beheerst.

In de tweede les gingen de leerlingen verder met vragen, na een inhoudelijk introductie van het onderwerp. De leerlingen hadden de neiging om direct met tweetallen de vragen uit te werken voordat ze zelfstandig een antwoord hadden geformuleerd. Het huiswerk voor de vrijdag daarop is door geen van de leerlingen ingeleverd.

De derde les, bestond uit het behandelen van de theorie voor het derde schoolexamen. Dit nam, met de vragen die vanuit de klas kwamen, dermate veel tijd in beslag dat er die les niet is toegekomen aan het werken met de vragen of de methode. Ook is er voor de vrijdag daarop geen huiswerk online ingeleverd.

### **Overweging inzet**

De periode van inzet van het prototype was tussen de voorjaarsvakantie en de start de derde examenweek, 25 februari tot en met 12 maart 2019. Wat voor het inzetten van het onderzoekstraject niet te voorzien was, was dat de meerderheid van de leerlingen een onvoldoende resultaat had voor het tweede schoolexamen. Dit had in de drie weken na de tweede examenweek een hoop onzekerheid voor de leerlingen tot gevolg. Dat terwijl de leerlingen de tijd hard nodig hadden om de voor hen nieuwe stof “modelleren” aan te leren. Daar kwam een herexamen natuurkunde voor de gehele klas bij, die op de maandag na de voorjaarsvakantie is gemaakt.

Dit alles bij elkaar heeft een mogelijke invloed gehad op de focus en aandacht die de leerlingen hebben gehad met het oefenen met het prototype. Samen met de onzekerheid die een slecht resultaat met zich mee brengt, kan verwacht worden dat een nieuwe manieren om te leren

(formuleren/ redeneren) een investering is waar de leerlingen op dat moment wellicht minder motivatie voor hebben.

Wat opviel was dat de leerlingen het lastig vonden om de tijd te nemen om begrippen uit te werken waarvan ze het idee hadden dat ze deze al beheersten. Zelfs al viel uit de gegeven antwoorden op te merken dat ze deze begrippen (puntwoorden) niet goed begrepen. Het is voorstelbaar dat de methode voelt als een “stap terug” naar een lager niveau en dat de methode daarom als minder motiverend wordt ervaren.

## **Evaluatie prototype**

### **Evaluatie op resultaat**

Om er achter te komen of de leerlingen beter op de begripsvragen hebben gescoord, zijn de gemiddelde relatieve scores van de begripsvragen van het tweede en het derde schoolexamen met elkaar vergeleken in een studenten t-toets. De gemiddelde relatieve scores voor begripsvragen zijn per leerling berekend door het aantal verdiende punten te delen door de maximaal te verdienen punten op alle begripsvragen per schoolexamen.

Op het tweede schoolexamen scoorden de leerlingen 0.19 op begripsvragen tegenover 0.43 op schoolexamen drie. Dit is een significant stijging ( $p < 0.05$ ). (Bijlage 6). Dit betekent dat de leerlingen na inzet van het prototype relatief minder punten hebben verloren op begripsvragen tijdens een schoolexamen.

Hieraan is het een en ander op te merken. In het tweede schoolexamen waren negen van de zeventien vragen begripsvragen. In het derde schoolexamen waren dat twee van de twaalf. Ook het onderwerp van de schoolexamens was verschillend. Van het tweede schoolexamen was dit gravitatie en elektriciteit. Van het derde schoolexamen was dit modelleren en trillingen. Het kan zijn dat deze onderwerpen de leerlingen beter lagen en dat er daarom meer begrip was van de examenstof.

### **Evaluatie op methode**

Behalve het evalueren van de score op begripsvragen is de manier van antwoorden van de vragen ook geëvalueerd. Daartoe is de methode-evaluatie van T. Visser gebruikt.

In de methode-evaluatie wordt gescoord hoeveel puntwoorden in het antwoord voorkomen en of deze juist worden uitgelegd. Aanwezigheid van een signaalwoord in het antwoord wordt gescoord, evenals de aanwezigheid van een verbinding en juistheid van de verbinding. Wanneer deze relatief worden gemaakt ten opzichte van de maximale score op dat onderdeel, leidt dit tot een getal. Dit getal vertegenwoordigt het relatieve gebruik en juistheid van puntwoorden, aanwezigheid van een signaalwoord en de verbinding en juistheid van de verbinding in het antwoord.

Deze relatieve scores worden vergeleken in een studenten t-test tussen het tweede en het derde schoolexamen. Daarmee kan worden geconcludeerd of er een verandering is in de wijze van antwoorden op begripsvragen.

Voor deze evaluatie zijn drie begripsvragen uit het tweede schoolonderzoek (Bijlage 7) en twee begripsvragen uit het derde schoolonderzoek (Bijlage 8) geselecteerd. De drie vragen uit het tweede schoolonderzoek zijn gekozen, omdat ze duidelijk gedefinieerde puntwoorden bevatten. De twee

vragen uit het derde schoolonderzoek hadden ook duidelijke puntwoorden en waren de enige begripsvragen. De gemiddelde relatieve score van de geselecteerde vragen uit het tweede schoolexamen komen met 0.17 net iets lager uit dan het gemiddelde van 0.19 voor dat schoolonderzoek. (Bijlage 7)

Uit evaluatie van deze resultaten (Tabel 6) blijkt dat de leerlingen voor deze begripsvragen vragen op het derde schoolexamen relatief meer punten hebben gescord ( $p < 0,01$ ) dan op het tweede schoolexamen. Ook zijn er in de antwoorden van het derde schoolexamen vaker ( $p < 0,01$ ) uitwerkingen van puntwoorden aangetroffen en waren deze puntwoorden vaker ( $p < 0,01$ ) juist omschreven. Ook hebben de leerlingen in het derde schoolexamen significant ( $p < 0,05$ ) vaker een signaalwoord in hun antwoord opgenomen.

	se02	se03	p
relatieve score	0,17	0,43	0,00
relatief aantal puntwoorden uitgelegd	0,26	0,82	0,00
relatief puntwoorden juist	0,08	0,46	0,00
aanwezigheid signaalwoord	0,67	0,89	0,02
aanwezigheid verbinding	0,63	0,71	0,43
juistheid verbinding	0,17	0,32	0,15

Tabel 6: taakkundige evaluatie van begripsvragen

Uit deze resultaten (Tabel 6) blijkt dat de leerlingen tijdens het derde schoolexamen meer volgens de methode hebben gewerkt dan tijdens het tweede schoolonderzoek.

Een voorbeeld van het meer volgens de methode werken van een leerling.

Vraag 7 uit SE02: *“Leg uit door middel van het ontbinden van de gravitatie(kracht)vector, dat dit zorgt voor een snelheid om de zon die niet constant is.”* (Leerlingen hebben in de tekst hiervoor gelezen dat in een ellipsbaan de gravitatiekrachtvector bijna nooit loodrecht op de snelheidsvector staat.)

Antwoord leerling: *“De gravitatievector kan ontleed worden in de snelheidsvector en de mpz vector. Als de gravitatievector en de snelheidsvector “niet altijd” loodrecht op elkaar staan zal dus ook de uitkomst telkens anders zijn. Aangezien er geen vaste positie is.”*

In dit antwoord is 1 puntwoord geteld die niet juist is gebruikt. Er is een signaalwoord (als ... dan zal) en een verbinding maar deze is niet juist. Voor deze vraag zijn 0 van de 2 punten toegekend.

Vraag 7 uit SE03: *“Leg uit hoe met een dynamo spanning wordt opgewekt. Gebruik daarbij in ieder geval het woord flux.”* (Leerlingen hebben hiervoor een plaatje van een dynamo gekregen met een draaiende magneet en een vaste spoel)

Antwoord leerling: *“De magneet draait rond, hierdoor verandert het magnetisch veld in de spoel constant. Hierdoor verandert ook de fluxdichtheid waardoor de magnetische flux waarde verandert, dit geeft de spanning die de dynamo opwekt.”*

In dit antwoord zijn 2 puntwoorden geteld die beide juist zijn gebruikt. Er is een signaalwoord



(dit geeft) en deze leidt tot een juiste verbinding. Voor deze vraag zijn 2 van de 2 punten toegekend.

### **Kwalitatieve evaluatie door leerling interview**

Op dinsdag 26 maart 2019, de week na het derde schoolexamen, zijn vier leerlingen van 6 vwo gezamenlijk geïnterviewd over het gebruik van de het prototype. Het viertal is getracht divers samen te stellen. Het bestond uit twee dames en twee heren, twee leerlingen die actief en twee die minder actief in de les met de methode hebben gewerkt. Qua cijfer staan twee van de leerlingen onvoldoende en twee leerlingen voldoende voor natuurkunde.

In het interview gaven leerlingen de algemene indruk dat het een *'goed bedoelde methode'* is, maar dat het niet prettig voelde deze actief te gebruiken. Een van de leerlingen gaf aan dat ze eigenlijk al een eigen methode had en dat een nieuwe methode aanleren moeilijk is. *"Ja, ik zit nu ook zeven jaar hier op school dus. Je hebt na een tijdje een soort (eigen) methode ontwikkeld, zo van: zo pak ik een vraag aan, en zeker het is natuurlijk goed om daar op een andere manier over na te denken maar ik merk dus dat, dat ik dat dus moeilijk vind, omdat ik dan denk, agh duurt lang, of dat ik er heel lang over na moet denken."*

Behalve een veranderen van de eigen methode kwam het tijdsintensieve karakter van de methode bij alle leerlingen terug als een obstakel. *"Ja, ik ben niet zo geduldig dus ik vond het (de methode) best wel lang duren."* en *"... en als je dat dan allemaal moet uitschrijven dan duurt het echt superlang."* waren opmerkingen van de leerlingen.

Een van de leerlingen gaf als positief punt van het gebruik van de methode dat deze structuur gaf: *"...maar ik vind het wel fijn dat het een beetje structuur brengt in hoe ik een opgave tackle."*

Een andere leerling gaf voorzichtig aan dat hij er wel iets aan had gehad bij het examen: *"Ik heb het wel een beetje bij de toets gebruikt. Niet heel veel maar vooral die doe-woorden in het begin van: beschrijf of leg uit. Ja, het is vooral dat je helpt goed lezen met wat je moet beantwoorden."*

Wat overheerste bij de leerlingen was teleurstelling van de timing van het inzetten van het prototype. Pas op het in het eindexamenjaar voor het laatste schoolexamen. *"Ehm ja, dus wat dat betreft dus misschien, is het een beetje te laat. Daar kunt u nu natuurlijk niets aan doen. Maar ja, dat is iets wat eerder ingevoerd moet worden, denk ik."* En: *"En het is nu mijn zevende jaar hier op Zuid en ik wordt er mee geconfronteerd en nu zeggen de leraren: kijk, ik ga je nu heel goed helpen."*

Samenvattend vinden de leerlingen het jammer dat de methode laat in hun schoolloopbaan is geïntroduceerd. Daarom hebben sommigen al een eigen methode om vragen aan te pakken. Wanneer ze dan gevraagd worden om een nieuwe methode te oefenen die veel tijd kost, reageren ze niet gemotiveerd. Ondanks dat, geven ze aan wel wat aan de methode te hebben gehad.

### **Algehele conclusie**

Een slecht resultaat op het tweede schoolexamen, een algeheel herexamen en nieuwe stof die in korte tijd eigen moet worden gemaakt voor het derde schoolexamen. Dit maakt de situatie in de klas niet ideaal om een nieuwe methode te introduceren. En een methode die veel tijd kost wanneer je deze toepast en waarin je bekend geachte termen nogmaals uit moet schrijven, verhogen de motivatie niet om deze methode te gaan gebruiken.

Desalniettemin heeft de klas de nieuwe methode op het derde schoolexamen methode toegepast met resultaat, zoals is op te maken uit de score van de methode-evaluatie. Gezien de grondtoon van het interview is te verwachten dat dit niet bewust is gebeurd. Zichtbaar is dat het begin van een beter antwoord aanwezig is. Er worden meer puntwoorden gebruikt in het antwoord, de puntwoorden zijn vaker juist en er wordt vaker gebruik gemaakt van een signaalwoord. Het puntverlies van de leerlingen op de begripsvragen is verminderd.

Daarom kan er zeer voorzichtig geconcludeerd worden dat, met het ontworpen prototype gebaseerd op de methode "Van helder schrijven ga je helder denken" 6 vwo-leerlingen hun puntenverlies bij het schoolexamen natuurkunde op begripsvragen hebben weten te beperken.

## Discussie

Dit onderzoek vond plaats op een enkele school met een enkele vwo-klas. Deze klas heeft in de voorgaande jaren een bepaalde wijze geleerd om vragen te benaderen. Deze wijze is beïnvloed door de lessen, toetsen en docenten die zij in voorgaande jaren hebben gehad. Daarom kan er niet vanuit worden gegaan dat de klas representatieve steekproef vertegenwoordigt van alle 6 vwo-leerlingen en de externe validiteit van dit onderzoek beperkt is. Dat maakt dit onderzoek exploratief en geen basis waarop harde conclusies getrokken kunnen worden.

De wijze waarop docenten in voorgaande jaren de verschillende onderwerpen hebben behandeld, gecombineerd met het talent van de leerlingen heeft gevolgen voor de mate waarin de leerlingen de verschillende onderwerpen van de examenstof beheersen. Dit kan mee hebben gespeeld in het verschil in resultaat op de twee schoolexamens.

Deze klas is in het begin van het schooljaar geconfronteerd met een nieuwe docent. Dit brengt een andere manier van werken en een andere manier van het vragen tijdens schoolexamens. Waar de leerlingen wellicht gewend waren aan de vraagstelling van de vorige docent, zijn ze in dit jaar geconfronteerd met een nieuwe manier. De mate waarin dit invloed heeft gehad op de resultaten op het tweede en derde schoolexamen is niet onderzocht.

Het gemiddelde resultaat van de klas op het tweede schoolexamen was zeer slecht. Dit kan een "eyeopener" zijn geweest voor de leerlingen betreffende hun eigen studiegedrag. Wellicht in combinatie met het naderen van het centraal schriftelijk examen, kan dit gewerkt hebben als motivator voor de leerlingen om het derde schoolexamen beter voor te bereiden. Dit kan het verschil in resultaat op de schoolexamens hebben beïnvloed.

Vanwege het slechte resultaat van het tweede schoolexamen kan de docent onbewust het derde schoolexamen makkelijker hebben gemaakt. De docent is betrokken bij de leerlingen en ziet ze graag slagen. Bij een slecht resultaat is het normaal dat je evalueert waarom de leerlingen het slecht hebben gemaakt. Dit kan onbewust ervoor hebben gezorgd dat het derde schoolexamen een lager niveau had dan het tweede schoolexamen. Ook dit kan een mogelijke reden voor de betere score op het derde schoolexamen zijn.

Wanneer er meer tijd voor de het prototype was geweest, was het resultaat wellicht groter geweest. Echter inzet van het prototype was beperkt door de druk van het curriculum en het naderende schoolexamen. Uit het interview en het huiswerk bleek dat niet iedereen even veel met de methode heeft gewerkt. Met meer tijd in de les, en een langer tijd om er mee te oefenen was het resultaat wellicht beter geweest.

De significante verbetering van de gemiddelde relatieve score van 0.19 naar 0.43 voor de begripvragen is een verbetering van 126%. Daarbij moet wel gelet worden op het feit dat een gemiddelde relatieve score van 0.19 een dikke onvoldoende ( $<0.55$ ) is. Ook het verbeterde resultaat van 0.43 is nog steeds onvoldoende. Dat indiceert dat dit prototype leerlingen “minder slecht” heeft laten scoren. Hieruit kan niet geconcludeerd worden dat dit een methode is die goede leerlingen nog beter laat scoren. Hoe dit werkt bij leerlingen met een relatieve score die voldoende is, is een interessant vraag voor een vervolgonderzoek.

Het was de wens van docent om de leerlingen met het prototype een steuntje in de rug te bieden voor het naderende schoolexamen. Uit het interview bleek dat de leerlingen dit niet zo ervaren vanwege het moment van inzet en het tijdsintensieve karakter. Tijdens het interview werd gezegd dat er wel geloofd wordt in de meerwaarde van de methode, maar deze te laat in hun “schoolcarrière” is ingezet. De leerlingen hadden dit steuntje dus graag eerder in het curriculum van de bovenbouw gezien.

Het tijdsintensieve karakter dat de leerlingen aangeven als obstakel is wellicht de kracht van de methode. Uit het interview kwam naar voren dat de leerlingen het vervelend vinden langer bij een vraag stil te (moeten) staan. Wellicht is de tijd die leerlingen voor een vraag op het examen nemen een factor in hoe ze scoren voor die vraag. Dit doet vermoeden dat het minder tijdsintensief maken van de methode niet wenselijk is.

Betreffende het interview met de leerlingen moet worden opgemerkt dat de interviewer ook de stagedocent was van de leerlingen. Dit betekent dat er een band was tussen de interviewer en de leerlingen die mogelijk heeft geleid tot wenselijk antwoorden en daarmee met de validiteit van dit instrument. Hiermee is rekening gehouden door bij de resultaten van het onderzoek resultaten van het interview te gebruiken als een indicatie.

Dit onderzoek laat zien dat leerlingen na korte oefening met het prototype vragen op een andere manier hebben beantwoord. Dit kan echter niet direct gekoppeld worden aan de hogere score. Op het schoolexamen worden de punten niet toegekend aan het correct uitschrijven van de puntwoorden, dit is in het correctievoorschrift bepaald. De verbinding is wellicht dat het uitschrijven een manier om de kennis te activeren zo te komen tot het juiste antwoord. Hoe dit en of dit zo werkt is een onderwerp voor een volgend onderzoek.

## **Eigen waardering**

De methode kost veel tijd door het uitschrijven van de puntwoorden voordat het antwoord geformuleerd wordt. Echter het stilstaan bij de doe- en puntwoorden is precies wat een ervaren natuurkundige doet bij het nadenken over de vraag. En dat is ook precies wat je als docent natuurkunde je leerlingen wil leren: nadenken over wat er precies gevraagd wordt.

Dit stilstaan is precies wat deze methode afdwingt en dat is zowel een voordeel als een nadeel. Een nadeel voor de leerlingen die de puntwoorden (vaktermen) kennen en redeneervaardigheden goed beheersen; voor hen is het een vertragend instrument. Een voordeel is het voor de leerlingen die deze vaktermen nog niet scherp hebben of moeite hebben met een juiste redenering. Want dit uitschrijven legt eenvoudig bloot waar het “tekort” bij de leerling zicht voordoet. Al zal de leerling dat misschien niet meteen ervaren als een voordeel, hier leert de leerling zich een nieuwe vaardigheid aan.

Gebruik van de methode in de lessen vraagt van de docent een aanpassing in de manier van vraagstelling en ook de manier van nakijken en feedback geven. Gevolg is dat dit ook voor de docent een temporisering is.

Dit instrument is voor een docent een handige diagnostische tool. Deze kan hiermee nagaan of de vaktermen (puntwoorden) of het mechanisme/interactie tussen de vaktermen voldoende “begrepen” worden. Het is daarmee een instrument voor de docent voor het aanpassen van de lesfocus op de behoefte van de klas of de individuele leerling. Ik verwacht dat dit instrument een meerwaarde heeft voor docenten die zich willen verdiepen in formatief toetsen.

Ik vind dit goede methode om te gebruiken zodra de leerlingen in de bovenbouw zitten. Dat is vanwege het tijdsintensieve karakter van de methode en de benodigde kennis van de natuurkunde die terug komt in de puntwoorden. Het biedt de leerlingen houvast in het aanpakken van een vraag. Wanneer de leerlingen eenmaal bekend zijn met het gebruik van de methode kunnen ze deze werkwijze bij vragen die ze denken te beheersen achterwege laten. Wanneer ze niet direct op een antwoord komen, kunnen ze deze methode alsnog toepassen.

Een extra voordeel is dat de leerlingen deze methode ook zelf kunnen gebruiken als ze zelf een diagnostische toets maken bij het studeren voor examens. Door de vraag uit te schrijven kunnen ze zelf helder krijgen waar hun verbeterpunten liggen.

Ik verwacht dat ik in mijn eigen lessen deze methode zeker ga aanbieden aan mijn leerlingen. De introductie zal ik daarbij in een vroeg stadium van de bovenbouw houden. Daarbij verwacht ik wat meer de lesopbouw te volgen die Visser ook heeft gevolgd. De verschillende stappen van de methode inoefenen met alternatieve uitdagende werkvormen, zoals de groepsdiscussie over de puntwoorden of het doe- en puntwoordenspel. Ook zal ik deze methode af en toe in gaan zetten in de les. Zodat ik zowel de stof kan herhalen als checken waar de focus van de les moet komen te liggen.

Als handleiding voor dit ontwerponderzoek heb ik het boek *“Praktijkonderzoek in de school”* (19) gebruikt zoals geadviseerd. Ik vind de hoofdstukindeling en chronologische wijze van rapportage die in dit boek wordt gebruikt minder prettig. Mocht ik nogmaals een ontwerponderzoek in een educatieve situatie aanpakken, dan wil ik *“An introduction to educational design research”* (20) van het SLO gebruiken, om zo mijn vaardigheid te vergroten.

## **Aanbevelingen**

Op het Stedelijk Lyceum, afdeling Zuid heeft de natuurkunde docent de leerlingen van 6 vwo geadviseerd de methode te gebruiken wanneer ze vastlopen met de oefenexamenvragen. Daarbij gaf hij de methode te gebruiken om de leerlingen te helpen wanneer ze in de les vraag hebben. Hij begint dan om de leerlingen te vragen de puntwoorden uit te leggen. Ook gaf hij aan bij 5 vwo en 4 vwo alvast een start te maken met de introductie van methode.

In potentie is deze methode geschikt om toe te passen op het voortgezet onderwijs. Daarbij is het aanbevolen om meer onderzoek te doen naar de wat voor verandering die er optreedt in het redenerend vermogen van de leerlingen. Ook is het aan te bevelen te onderzoeken: hoe en of deze methode het begrip van de leerlingen in de natuurkunde verbeterd en als laatste hoe de relatie tussen een het gebruik van de methode en de score op een examen precies in elkaar steekt.

Deze methode is aan te bevelen aan alle docenten zich ergeren aan onduidelijke antwoorden op toetsvragen. En aan de docenten die het gevoel hebben dat de leerlingen de stof wel snappen, maar dat het er op een proefwerk niet uitkomt. Voor deze docenten en hun leerlingen kan dit een alternatieve methode zijn om op te sporen waarop geoefend moet worden om een betere score te halen op een examen.

Door deze methode toe te passen in een toetsvorm kan door de docent bij het nakijken eenvoudig worden achterhaald of de vaktermen en onderlinge relaties voldoende beheerst worden. Daarom kan dit een waardevolle tool zijn voor docenten die formatief willen toetsen.

Ondanks de vragen die er nog zijn, is er bij de onderzoeker vertrouwen dat dit een methode is waar de leerlingen niet slechter van worden. Het traint de algemene vaardigheden: nauwkeurig lezen en helder redeneren/formuleren. Twee vaardigheden die de natuurkunde overstijgen en daarmee de leerling helpen voor alle vakken. Daarom is de aanbeveling aan de school om deze methode te gaan gebruiken in het eerste jaar van de bovenbouw natuurkunde. En daarbij de methode zo vorm te geven dat hij past binnen het curriculum en de school. Bij gebleken meerwaarde kan deze eventueel breder ingezet worden binnen de bèta vakken.

## Bijlagen

### Bijlage 1: Literatuurlijst.

- 1) J. Larkin, J. et al, (1980), **Expert and novice performance in solving Physics problems.** *Science vol 208 pp 1335-1342, June 1980*
- 2) Champagne A.B. et al. (1983), **A perspective on the differences between expert and novice performance in solving physics problems.** *Meeting paper at Australian Science Education Research Associatio , Sydney, Australia,*
- 3) Thibodeau Hardiman P. et al. (1989), **The relation between problem categorization and problem solving among experts and novices.** *Memory & Cognition 1989, 17 (5), 627-638*
- 4) Gok T., (2010), **The General Assessment of Problem Solving Processes and Metacognition in Physics Education,** *Eurasian J. Phys. Chem. Educ. 2(2):110-122, 2010*
- 5) Reif F. & Heller I.J. (1982) **Knowledge structure and problem solving in physics,** *Educational Psychologist, 17:2, 102-127,*
- 6) Heller P. et al. (1991) **Teaching problem solving through cooperative grouping P1 group vs individual problem solving,** *American Jouran of Physics, 60 (7), July 1992*
- 7) van den Berg J.S. (1983), **Natuurkunde-vraagstukken-oplossen : een vakdidactische studie van het leren oplossen van natuurkundevraagstukken in klas vier vwo,** *Proefschrift, Technische Hogeschool Eindhoven.*
- 8) Schoenfeld A.H. (1992) **Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics.** *Handbook for Research on Mathematics Teaching and Learning (pp. 334-370).*
- 9) van Huis C. & van den Berg E. (1993) **Teaching energy: a systems approach** *Phys. Educ. 28 146*
- 10) Mualem R., Eylon B. (2007). **“Physics with a Smile” Explaining Phenomena with a Qualitative Problem-Solving Strategy.** *The Physics Teacher Vol. 45, March 2007*
- 11) de Cock M. (2011), **Representation use and strategy choice in physics problem solving** *Physical review special topics – physics education research 8, 020117 (2012)*
- 12) Dirken M. (2010) **Toetsevaluatie door leerlingen, picking the low hanging fruit,** *essay.utwente.nl/64364/1/Dirken,%20Mark%20-%20S1005596%20-%20Afstudeerscriptie.pdf (geraadpleegd 5-12-18)*
- 13) Visser T. & Ornée G. (2018) **Een goed geformuleerd en juist antwoord 1,** *NVOX, mei 2018, 238-239*
- 14) Visser T. & Ornée G. (2018) **Een goed geformuleerd en juist antwoord 2,** *NVOX, juni 2018, 294-295*
- 15) Visser T. & Ornée G. (2018) **Een goed geformuleerd en juist antwoord 3,** *NVOX, sept 2018, 350-351*
- 16) Visser T. et al. (2017) **Writing Prompts Help Improve Expression of Conceptual Understanding in Chemistry.,** *Journal of chemical education 2018, 95(8), 1331-1335*
- 17) **natuurkunde vwo | syllabus centraal examen 2018,** (2016) College voor Toetsen en Examens vwo, havo, vmbo, Utrecht.  
<https://www.examenblad.nl/vak/natuurkunde/2018/vwo> (geraadpleegd 18-03-19)
- 18) Visser T. (2014), **Poster onderzoeksplan “Taalvaardigheid van 4-havoleerlingen vergroten bij taal- en exacte vakken”**  
<https://www.uu.nl/onderzoek/onderzoek-op-scholen/onderzoekers/talitha-visser>  
(geraadpleegd 24-03-19)
- 19) van der Donk, C & van Lanen, B.(2009). **Praktijkonderzoek in de school.** Bussum:.. *Uitgeverij Coutinho bv.*
- 20) Plomp, T. & Nieveen, N.(2007). **An introduction to educational research.** Enschede: *SLO.*

## Schoolexamen VWO 6 **2018**

Stof: Boeken 4V, 5V, 6V, H13

Toegestane hulpmiddelen:

- BINAS
- niet-grafische rekenmachine
  
- Docent: Diepenbroek

14 januari 2018

10:50 – 12:20

### **Natuurkunde**

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 17 vragen

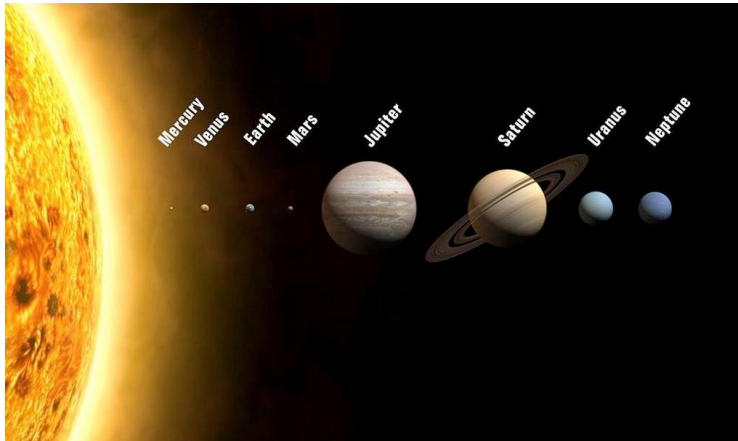
Voor dit examen zijn maximaal 46 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

## Een eenvoudig zonnestelsel



Ons zonnestelsel ontstond ongeveer 4,5 miljard jaar geleden, toen een interstellaire gaswolk om onbekende reden actief werd en door zijn eigen gewicht begon te krimpen en steeds sneller rond te draaien,

waarna in het midden van deze gaswolk de Zon ontstond.

Het ineenstorten van het midden van de gaswolk nam 100.000 jaar in beslag. Door de enorm hoge temperatuur ontstond bij het samentrekken een kleine ster die een groot deel van de gaswolk opzoog en zo een volwaardige ster werd: onze Zon. Een miljoen jaar na het ontstaan van de Zon nam het zonnestelsel de vorm aan zoals we die nu kennen.

Voor de volgende vragen gaan we uit van een eenvoudig zonnestelsel – een zonnestelsel met één zon en één aarde. Deze aarde doorloopt een perfecte cirkelbaan om de zon. Als je bovenop de noordpool zou kijken dan zou je zien dat deze aarde (die in alle andere constanten gelijk is aan onze aarde zoals straal, massa, omlooptijd en afstand tot de zon, zie Binas 31) een rondje tegen de klok in draait om de zon. En kijkend op de noordpool kijk je loodrecht op het rotatievlak.

4p 1 In de uitwerkbijlage staat het bovenaanzicht van het eenvoudig zonnestelsel met één zon en één aarde weergegeven. Teken hierin:

- De (afgelegde) baan van de aarde,
- De snelheidsvector van de aarde op één bepaald moment
- De kracht die de zon op de aarde uitoefent
- De kracht die de aarde op de zon uitoefent.

**Teken de vectoren met liniaal/geodriehoek en gebruik duidelijke labels.**

2p 2

Wat is de baansnelheid  $v$  waarmee deze aarde om de zon heen draait?

99% van de massa in ons zonnestelsel bevindt zich in onze zon. Daarmee is de zon met  $1.99 \times 10^{30}$  kg niet alleen het zwaarste maar ook het grootste object in het zonnestelsel.

2p 3 Bereken de grootte en richting van de kracht die de zon op de aarde uitoefent? Deze kracht is natuurlijk wat de aarde in een baan om de zon houdt. Deze kracht is echter geen garantie voor een cirkelvormige baan. De dwergplaneet Pluto die ook wordt aangetrokken door dezelfde zon doorloopt immers een ellipsvormige baan.



- 2p      **4**      Beschrijf aan welke twee voorwaarden moet worden voldaan om de aarde in een perfecte cirkelbaan om de zon te houden.

De snelheid waarmee de aarde om de zon heen draait is niet “toevallig”. Niet alleen duurt deze precies een jaar, maar ook is deze snelheid bepalend voor de afstand tot de zon.

- 3p      **5**

Stel nu dat de aarde 10% lichter zou zijn geweest. Leg uit wat dit betekent voor de cirkelbeweging als de aarde 10% lichter was geweest?

**Johannes Kepler** was een Duitse astronoom, astroloog en wis- en natuurkundige, die vooral bekend werd door zijn studie van de hemelmechanica en in het bijzonder vanwege de berekening van de planeetbewegingen en de daarover geformuleerde wetten, de Wetten van Kepler. Kepler publiceerde de eerste twee wetten in zijn “*Astronomia nova seu Physica coelestis*”, *Nieuwe Sterrenkunde of Hemelnatuurkunde* (1609), en de derde wet in “*Harmonice mundi*”, *Wereldharmonie* (1619).

- 3p      **6**      Leg uit dat Kepler in 1609 de afstand van de zon tot mars kon berekenen uit de tijd die mars er over deed om één ronde om de zon te completeren (periodetijd van mars). (ook bekend als de derde wet van Kepler)

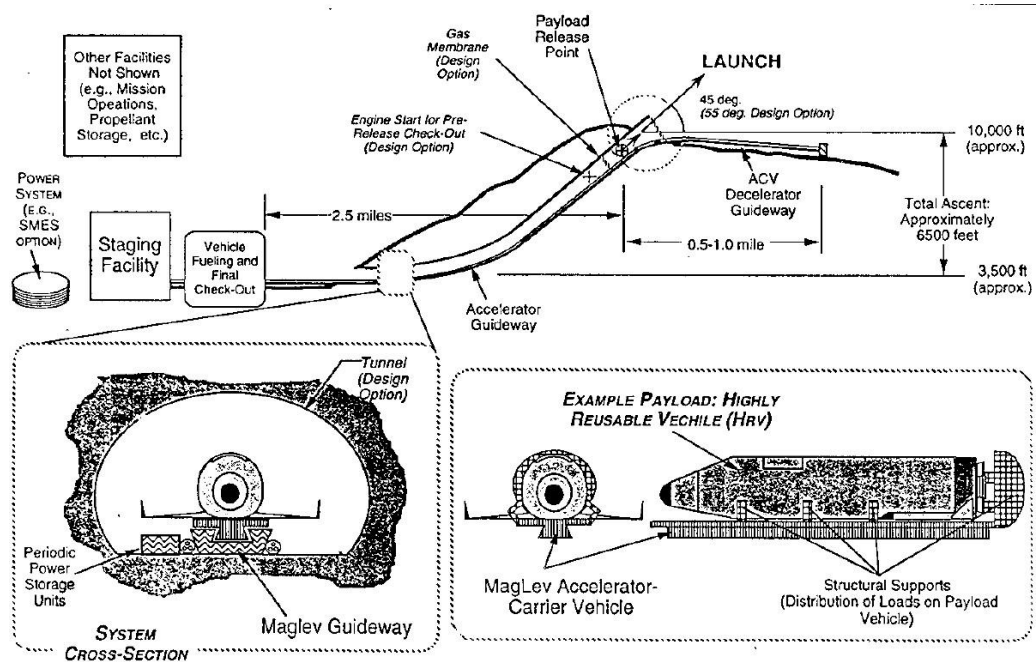
De baan van de aarde is in werkelijkheid een ellips. En dat heeft als resultaat dat de snelheid van de aarde niet constant is gedurende zijn ronde om de zon. In een ellipsbaan staat de gravitatiekrachtvector bijna nooit loodrecht op de snelheidsvector van de planeet.

- 2p      **7**      Leg uit door middel van het ontbinden van de gravitatie(kracht)vector, dat dit zorgt voor een snelheid om de zon die niet constant is.

- 2p      **8**      Beredeneer op welke plek in de ellipsbaan om de zon, de aarde zijn laagste snelheid heeft.

## Rocket Sled Launch

De *Rocket Sled Launch* is een manier om raketten (*launch vehicles*) te lanceren zonder dat deze zelf brandstof mee hoeven te nemen. Alle initiële snelheid wordt daarbij op de aarde gecreëerd. Het is als het ware een enorme katapult voor raketten die het heelal in worden geschoten.



Beschouw nu een systeem waar alleen de aarde en de raket bestaat. De raket moet weggeschoten worden met een dusdanige snelheid zodat deze aan de zwaartekracht van de aarde ontsnapt. Deze snelheid wordt de ontsnappingsnelheid genoemd.

- 4p 9 Reken de ontsnappingsnelheid uit van een raket als deze van aarde wordt afgeschoten.

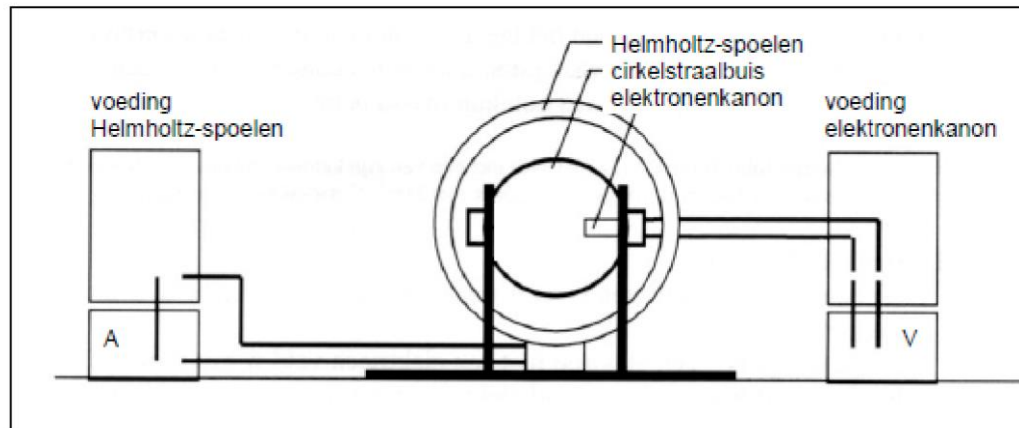
Hint: maak gebruik van behoud van energie.

Voor elke hoogte rondom de aarde is er een bepaalde snelheid waarmee een object precies een cirkelbaan maakt. Vanaf die "cirkelbaan" is ook een ontsnappingsnelheid te berekenen.

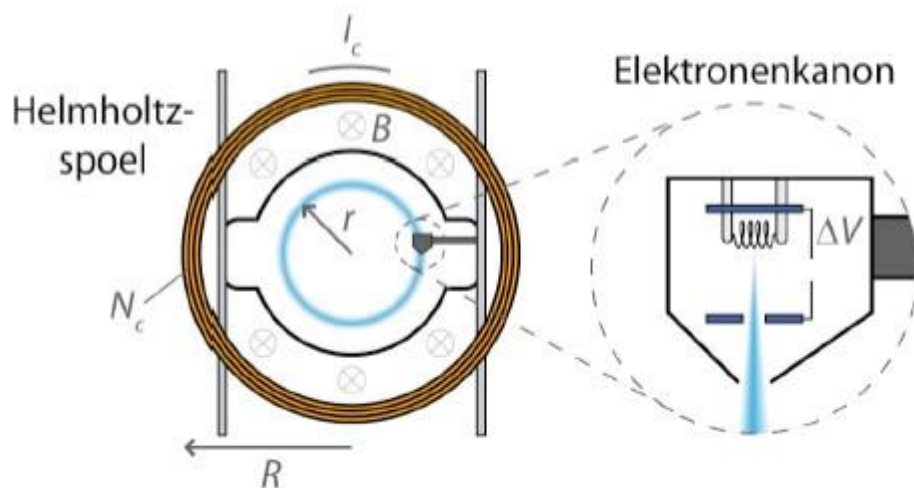
- 3p 10 Toon aan dat de ontsnappingsnelheid vanaf een bepaalde hoogte, en de snelheid van een cirkelbaan op diezelfde hoogte precies  $\sqrt{2}$  van elkaar verschillen.

## Lorentzkracht en de cirkelstraalbuis

De Lorentzkracht is bekend als de kracht die een magnetisch veld uitoefent op een bewegende lading. Om Lorentzkracht aan te tonen kun je een cirkelstraalbuis gebruiken. In het onderstaande figuur staat een opstelling van één cirkelstraalbuis met Helmholtz-spoelen en een elektronen kanon.



Bekijk in het voorbeeld hieronder het elektronenkanon nauwkeurig. De taak van het elektronenkanon is om de elektronen vrij te maken (thermische emissie), en de vrijgemaakte elektronen (in dit voorbeeld) een snelheid recht naar beneden te geven. Het elektronenkanon bevindt zich in een glazen bol met een vacuüm. De spanningsbron die nodig is om de elektronen vrij te maken en te versnellen, is niet weergegeven in het figuur.



3p **11** Completeer, op de uitwerkbijlage, het schakelschema van de elektronenkanon zodat:

- elektronen worden vrijgemaakt,
- elektronen worden versneld naar beneden **en**
- zodat de **grootte** van de versnelling van de elektronen ingesteld kan worden.

Bekijk de Helmholtz-spoelen nauwkeurig. Deze spoelen zorgen voor een magnetisch veld. Door dit magnetische veld kunnen de elektronen zo worden afgebogen dat ze in een cirkel gaan bewegen. Daarbij mag je er vanuit gaan dat de spoelen zich gedragen als een ohmse weerstand.

2p **12** Geef op de figuur in de uitwerkbijlage, duidelijk aan in welke richting de stroom loopt door de spoelen, om een de elektronen een cirkelbeweging met de klok mee te laten maken.

**Leg duidelijk uit hoe je tot jouw antwoord komt.**

2p **13**

Geef aan hoe het magnetisch veld, richting en grootte), verandert wanneer de spanning over de spoelen twee maal groot wordt.

Twee leerling hebben een discussie over het cirkelstraalbuis experiment.

Leerling A beweert: "De magnetische kracht kan alleen de richting van de beweging van geladen deeltje veranderen, niet de grootte van de snelheid."

Leerling B is het hier niet mee eens en beweert: "De magnetisch kracht kan zowel de richting van beweging en de grootte van de snelheid van een geladen deeltje veranderen. De mate waarin richting en grootte veranderen hangt af van het type deeltje."

3p **14** Leg uit wie van deze twee leerlingen gelijk heeft.

Terug naar het elektronen kanon. Voor de volgende berekening mag je er vanuit gaan dat er een potentiaalverschil van 220 volt ervoor zorgt dat de elektronen worden versneld. Je kunt de beginsnelheid van een elektron verwaarlozen, op het moment dat het vrijkomt.

3p **15** Bereken de snelheid van een elektron als deze het elektronenkanon verlaat. Als je geen antwoord hebt op vraag **15**, reken dan verder met een snelheid van  $1,00 \times 10^7$  m/s

In het magnetische veld zorgt de Lorentzkracht er voor dat de elektronen zich in een cirkel bewegen. Je kunt ervan uitgaan dat de grootte van de snelheid van de elektronen nadat deze het elektronenkanon verlaten hebben constant blijft.

3p **16** Hoe groot is het magnetische veld, als de elektronen een cirkelvormige met een straal van 10 centimeter volgen. Gebruik daarbij elektronensnelheid die je in vraag **15** hebt berekend?

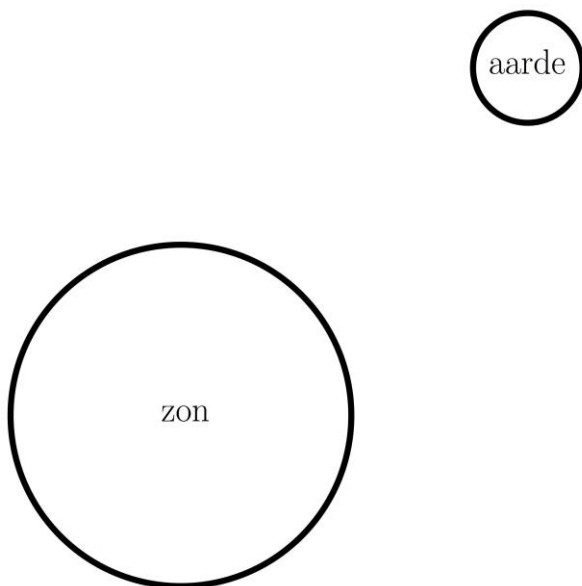
3p **17** Men neemt vaak (terecht) aan dat er binnenin de glazen bol van de straalbuis een vacuüm heerst. Leg uit hoe de baan van de elektronen zou veranderen als er binnenin de glazen bol **geen** vacuüm zou zijn.

### Uitwerkbijlage

Naam: ..... Klas: .....

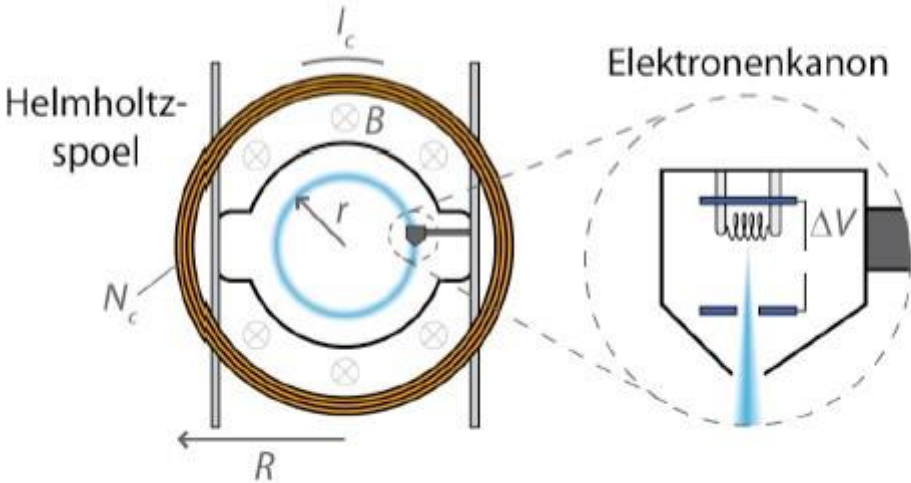
### Een eenvoudig zonnestelsel

---



Lorentzkracht en de cirkelstraalbuis

---



Bijlage 3: Analyse tweede schoolexamen.

leerling	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>15</u>	<u>16</u>	max waarde vraag	Gem waarde vraag	soort vraag
1	2	2	2	4	2	0	3	2	2	2	2	2	4	2	4	2	4	0,58	werk uit
2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	2	0,56	bereken
3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	0,53	bereken
4	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	2	0	2	1	1	2	0,44	begrip
5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0,04	begrip
6	3	0	3	0	2	1	1	1	0	3	1	0	0	1	1	0	3	0,35	begrip
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00	begrip
8	1	0	0	1	2	1	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0,31	begrip
9	3	0	2	1	3	1	3	3	3	3	1	3	0	0	3	0	4	0,45	bereken
10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	3	0,10	begrip
11	2	1	2	0	2	0	2	0	2	0	2	3	2	0	3	0	3	0,44	werk uit
12	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0,22	werk uit
13	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	2	0,19	begrip
14	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,08	begrip
15	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2	0,22	bereken
16	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,06	bereken
17	2	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	1	2	0	0	0	3	0,21	begrip

bereken vraag gem waarde
0,366

begrip vraag gem waarde
0,192

uitwerk vraag gem aarde
0,411

## **Bijlage 4: Eerste opzet Prototype**

### **Van helder schrijven ga je helder denken!**

Vragen die op een toets of een examen gesteld worden proberen te achterhalen of jij de stof beheerst. Door de manier waarop je antwoord geeft te oefenen kun je structuur brengen in de stof die jij moet beheersen. Zo krijg je voor jezelf overzicht op de kennis en kun je laten zien dat je anderen laten zien dat jij de stof begrijpt.

### **Analyseer de vraag:**

In elke toets- of examenvraag bevindt zich altijd een doe-woord. Een **doe-woord** geeft aan hoe het antwoord er uit zou moeten zien. Doe-woorden zijn woorden (of samenstelling van woorden) zoals: *leg uit, beschrijf, laat zien, beredeneer, geef voorbeelden van, bereken, toon aan, teken of vul aan*. Deze woorden geven aan wat voor antwoord er wordt verwacht.

Soms begint de vraag met een stukje tekst. Deze tekst is niet altijd relevant voor het antwoord op de vraag maar kan **soms punt-woorden** bevatten die relevant zijn voor het antwoord op de vraag.

De vraag zelf bevat altijd één of soms meerdere punt-woorden. **Punt-woorden** (of een combinatie van woorden) zijn belangrijke begrippen uit het vak zoals *energie, snelheid, impuls, gravitatie en vele anderen*. Deze worden punt-woorden genoemd omdat je er punten mee kunt verdienen. Deze punten geven ook vaak aan waar de oplossing gevonden kan worden.

### **Zoek de principes waar het in de vraag om draait.**

Vanuit de **puntwoorden** kun je gaan bedenken waar het in de vraag om draait. Ga daarbij voor jezelf op zoek welke “diepere” natuurkundige *principes* hier gelden. Bijvoorbeeld, de wet van energiebehoud, de wetten van elektriciteit en magnetisme, de wetten van de thermodynamica of de algemene wetten van de dynamica.

Wanneer de **puntwoorden** het over *lading, flux* of *elektrisch veld* gaan hebben zul je bij je antwoord waarschijnlijk moeten redeneren vanuit de wetten van de elektriciteit en magnetisme. Vind je in de **puntwoorden** woorden zoals *kracht, versnelling* of *beweging*, dan is de kans groot dat je je antwoord moet geven. Bij **puntwoorden** als *druk, volume* of *temperatuur* wordt er in het antwoord gezocht naar een redentatie vanuit de wet van thermodynamica.

### **Formuleer je antwoord.**

Wanneer je een antwoord formuleert begin dan altijd met een stuk van de vraag. Wanneer er in de vraag staat: “leg uit dat de snelheidsvector van een massa verandert wanneer er een externe kracht op werkt”, begin je vraag dan met: “de snelheidsvector van een massa verandert wanneer er een externe kracht *omdat* ....”

Let hierbij op dat *omdat* een **signaal-woord** is. “*Omdat*” geeft in de het antwoord een redengevend verband aan. De zin die na “*omdat*” komt, is de reden voor wat er gebeurt in de eerste zin van het antwoord.

In een antwoord zit altijd een signaalwoord. Het **signaalwoord** koppelt namelijk het antwoord aan de achterliggende reden of oorzaak van het antwoord.

Ook in de vraag of de inleidende tekst kunnen **signaal-woorden** aanwezig zijn. Daar geven de **signaal-woorden** een verband aan.



**Signaalwoorden** die horen bij een oorzakelijk verband (oorzaak-gevolg) zijn bijvoorbeeld: “*doordat, als gevolg van, zodat, daardoor, wanneer.... moet gelden dat*”

**Signaalwoorden** die horen bij een redengevend verband (argument) zijn bijvoorbeeld: “*daarom, omdat, immers, dat blijkt uit*”

**Signaalwoorden** die horen bij een concluderend verband (samenvattend) zijn bijvoorbeeld: “*Dus, daarom, kortom, al met al*”

### **Een ideaal antwoord.**

Een ideaal antwoord bestaat dus altijd (minimaal) uit drie delen:

1 deel van de vraag

2 een **signaalwoord**

3 argument, samenvatting of oorzaak/gevolg

PS. Dat is de basis voor een antwoord. Let daarbij op dat er altijd meerdere argumenten of oorzaken kunnen zijn. Ook de volgorde van de drie delen hoeft niet zoals hierboven te zijn.

### **Aanpak**

1. Analyseer de vraag,
  - a. omcirkel **doe-woorden**
  - b. onderstreep **punt-woorden**
  - c. zet een golf onder **signaal-woorden**.
2. Achterhaal om welke natuurkundige wetten op de vraag van toepassing zijn aan de hand van de **punt-woorden**.
3. Formuleer een antwoord uit minimaal 3 delen
  - a. Deel van de vraag
  - b. Signaal-woord**
  - c. Argument, samenvatting of oorzaak/gevolg
4. Check!
  - a. Lees de vraag nog een keer, geeft het antwoord, antwoord op de vraag?

Voorbeeld vragen.

## Voorbeeld 1

De **gravitatiekracht** is wat de aarde in een baan om de zon houdt. Deze kracht is echter geen garantie voor een cirkelvormige baan. De dwergplaneet Pluto die ook wordt aangetrokken door dezelfde zon doorloopt immers een ellipsvormige baan.

Vraag: **Beschrijf** aan welke **twee voorwaarden** moet worden voldaan om de aarde in **een perfecte cirkelbaan** om de zon te houden.

Stap 1: analyse vraag.

- a) Doe-woord: **beschrijf twee voorwaarden**, dus er wordt naar een oorzakelijk verband gezocht
- b) Punt-woorden: **gravitatiekracht** en **cirkelbaan**

Stap 2: natuurkundige wetten

Gravitatie kracht en cirkelbaan wijzen beide naar dat het hier gaat om een oplossing met behulp van krachten.

Wetmatigheden die hier gelden:

Wanneer de resulterende kracht (in dit geval de gravitatiekracht) gelijk is aan de "middelpuntzoekende" kracht resulteert dit in een cirkelbaan.

Een elke cirkelbaan werkt er een kracht, loodrecht op de snelheid, die de richting van de snelheidsvector verandert, maar niet de grootte van die vector.

Stap 3: formuleer vraag

Om *voor de aarde om aan een perfecte cirkelbaan te voldoen* moet gelden dat de kracht die op de aarde werkt loodrecht staat op de snelheidsvector en dat de gravitatiekracht even groot moet zijn als de middelpuntzoekende kracht.

## Voorbeeld 2.

De **negatieve lading** van het elektron houdt het elektron bij de kern. Het elektron kan zich in een bepaalde **energie toestand** bevinden, die iets zegt over de **kinetische energie** van het elektron.

Vraag: **Leg uit** waarom kan de **kinetische energie** van het elektron **niet “nul” zijn**

Stap 1: analyse vraag.

- a) Doe-woord: leg uit, er wordt dus naar een redengevend verband gezocht
- b) Puntwoorden: kinetische energie, niet “nul”, energietoestand en negatieve lading.

Stap 2: natuurkundige wetten.

Kinetische energie verwijzen naar een energievergelijking. Energietoestand verwijst naar quantum, en negatieve lading verwijst naar elektro magnetisme.

Wetmatigheden die hier gelden:

Als de kinetische energie is de snelheid van het elektron nul. Binnen de “quantum” bestaat altijd een minimale onzekerheid over plaats en impuls van een deeltje.

Stap 3: formuleer vraag

Wanneer de kinetische energie nul is dan is de snelheid van het elektron nul en kan zowel de plek als impuls van het deeltje worden bepaald. Dat zou de onzekerheidsrelatie van Heisenberg schenden.

Daarom kan de kinetische energie van een deeltje niet nul zijn.

## Vragen voor leerlingen

### Trilling en interferentie / licht-golven

#### Trilling:

In een bepaalde opstelling hangt metalen veer aan een ophangpunt. Onderaan de veer hangt een massa. Wanneer de massa in rust is hangt deze op hoogte  $h_{ew}$ .

- 1 Geef aan wat voor verband er bestaat tussen de uitrekking en de kracht die de veer op de massa levert.

De massa wordt  $\Delta h$  (m) naar beneden getrokken en los gelaten. In een ideale situatie begint de massa harmonisch te trillen.

- 2 Geef aan wat er bij harmonisch trilling constant wordt geacht.
- 3 Geef aan op welke positie resultante kracht op de massa nul is.

Als we het gehele veersysteem als een gesloten systeem beschouwen kunnen we de wet van energie behoud er op toepassen.

- 4 Noem de drie energieën die in dit systeem relevant zijn.
  - a. En noem de 3 hoogtes waarbij elk van deze energieën zijn maximum bereiken.

#### Antwoorden

1 Het verband tussen de uitrekking en de kracht is recht evenredig omdat de wet van Hooke geldt die aangeeft dat  $F = -C \cdot u$ .

2 Met een harmonische trilling wordt een herhalende beweging met een vaste periode bedoeld zonder dat deze gedempt wordt daarom wordt de trillingstijd of de frequentie en de amplitude constant geacht.

3 Op de massa werken twee krachten, de zwaartekracht en de veerkracht. Deze zijn even groot wanneer de massa op hoogte  $h_{ew}$  is. Daarom is op  $h_{ew}$  de resultante kracht op de massa nul.

Of, op hoogte  $h_{ew}$  is de resultante kracht nul omdat de twee werkende krachten, zijnde de zwaartekracht en de veerkracht elkaar opheffen.

4 Binnen het systeem werkt de zwaartekracht, de veerkracht en tijdens het trillen heeft de massa een snelheid. Daarom zijn de drie relevante energieën de zwaartekracht energie (mgh), de veerenergie, en de kinetische energie.

- a. De zwaarte kracht energie is altijd op zijn hoogst wanneer de massa op het hoogste punt is, dus in dit geval  $h_{ew} + \Delta h$
- b. De kinetische energie is het hoogst wanneer de massa het snelste beweegt en dat is bij een harmonische trilling altijd om het middelpunt dus  $h_{ew}$
- c. De veerenergie is op zijn hoogst wanneer de veer maximaal is uitgerekt, dat is dus wanneer de massa zijn laagste punt bereikt, dus  $h_{ew} - \Delta h$

## Bijlage 5: Prototype eindversie

### **Van helder schrijven ga je helder denken!**

Vragen die op een toets of een examen gesteld worden, proberen te achterhalen of je de stof beheerst. Door de manier waarop jij antwoord geeft te oefenen, kun je structuur aanbrengen in de stof die jij moet beheersen. Zo krijg je voor jezelf overzicht op de kennis en kun je laten zien aan anderen dat jij de stof begrijpt. Daarvoor doorloop je een aantal stappen.

#### **Stap 1: Analyseer de vraag:**

##### **Doe-woord:**

In elke toets- of examenvraag bevindt zich altijd een doe-woord. Een **doe-woord** geeft aan hoe het antwoord er uit moet zien. Doe-woorden zijn woorden (of samenstelling van woorden) zoals: *leg uit, beschrijf, laat zien, beredeneer, geef voorbeelden van, bereken, toon aan, teken of vul aan*. Deze woorden geven aan wat voor antwoord er wordt verwacht.

##### **Punt-woorden:**

Een vraag bevat altijd één of soms meerdere **punt-woorden**. **Punt-woorden** (of een combinatie van woorden) zijn belangrijke begrippen uit de natuurkunde zoals *energie, snelheid, impuls, gravitatie en vele anderen*. Deze worden **punt-woorden** genoemd omdat je er punten mee kunt verdienen. Deze **punt-woorden** geven ook aan in welke richting het antwoord gevonden kan worden.

##### **Woorden met een signaalfunctie:**

In een vraag kunnen ook woorden voorkomen met een **signaalfunctie**. Deze woorden geven aan naar wat voor soort verband er wordt gezocht. Bijvoorbeeld bij een vraag: “leg uit **waarom** .....” Is waarom het signaalwoord, en die geeft aan dat er in het antwoord wordt gevraagd naar een *oorzakelijk verband*. Bij een vraag: “beredeneer **hoe het komt dat** .....” dan wordt er in het antwoord gevraagd naar een *redengevend verband*.

#### **Stap 2: Formuleer een slotzin**

Je bent **punt-woorden** in de vraag tegen gekomen. Leg deze **punt-woorden** uit. Omschrijf waar het om gaat bij dat **punt-woord**.

Bijvoorbeeld het **punt-woord** kinetische energie: “*Kinetische energie* is de energie die een object heeft omdat het met een bepaalde snelheid beweegt, ook wel  $\frac{1}{2}mv^2$ .” Of als het gaat om lading: “We spreken over een *lading* wanneer een object meer of minder elektronen bezit dan protonen. Dan krijgt het een elektrische lading, waarbij negatieve en positieve ladingen elkaar aan trekken.”

Probeer daarna een slotzin te formuleren. In deze slotzin koppel je het **doe-woord** aan de **punt-woorden** door gebruik te maken van de relatie tussen de **punt-woorden**. Daarbij zul je merken dat het antwoord op de vraag vaak te maken heeft met de algemene natuurkundige principes die achter de **punt-woorden** schuil gaan.

Wanneer de **punt-woorden** over *lading, flux of elektrisch veld* gaan, zal je bij je antwoord waarschijnlijk moeten redeneren vanuit de wetten van de elektriciteit en magnetisme. Vind je in de **punt-woorden** woorden zoals, *kracht, versnelling of beweging*, dan is de kans groot dat je antwoord

kunt geven met gebruik van de wetten van de dynamica (bijv. tweede wet van Newton). Of, als de **punt-woorden** zoals hierboven *kinetische energie en lading* zijn, dan kun je verwachten dat er gezocht wordt naar formule waarin je elektrische energie en kinetische energie kan berekenen, zoals met de wet van energiebehoud :  $(\frac{1}{2}mv^2 + qU)_1 = (\frac{1}{2}mv^2 + qU)_2$

*Als de **punt-woorden** in de vraag onvoldoende informatie geven, zoek dan in de inleidende tekst of daar **punt-woorden** in staan om het antwoord te completeren.*

In een slotzin zit altijd een signaal-woord. Het is maar zelden dat gevraagd wordt om een op zichzelf staand antwoord, zonder dat je een reden of manier aangeeft hoe je tot het antwoord bent gekomen. Het **signaal-woord** koppelt daarbij het antwoord aan de achterliggende reden of oorzaak van het antwoord. Het **signaal-woord** kan ook het begin van de slotzin zijn maar let dan goed op dat je het juiste **signaal-woord** gebruikt.

**Signaal-woorden** die horen bij een oorzakelijk verband (oorzaak-gevolg) zijn bijvoorbeeld: “*doordat, als gevolg van, zodat, daardoor, moet gelden dat*”

**Signaal-woorden** die horen bij een redengevend verband (argument) zijn bijvoorbeeld: “*daarom, omdat, immers, dat blijkt uit*”

**Signaal-woorden** die horen bij een concluderend verband (samenvattend) zijn bijvoorbeeld: “*Dus, daarom, kortom, al met al*”

Als laatste controleer je de slotzin op het juiste gebruik van het signaalwoord en of de slotzin ook een zinnig antwoord is op de vraag, **Aanpak.**

1. Analyseer de vraag,
  - a. Omcirkel de **doe-woorden**
  - b. Onderstreep **punt-woorden**
  - c. Zet een golf onder woorden met een signaalfunctie
2. Formuleer een slotzin
  - a. Schrijf de **punt-woorden** uit
  - b. Schrijf een concluderende slotzin
  - c. Controleer slotzin op **signaal-woord** en of het de vraag beantwoord.

## Voorbeeld 1

De gravitatiekracht is wat de aarde in een baan om de zon houdt. Deze kracht is echter geen garantie voor een cirkelvormige baan. De dwergplaneet Pluto die ook wordt aangetrokken door dezelfde zon doorloopt immers een ellipsvormige baan.

Vraag: Beschrijf aan welke twee voorwaarden moet worden voldaan om de aarde in een perfecte cirkelbaan om de zon te houden.

Stap 1: analyseer de vraag.

- Doe-woord: beschrijf
- Punt-woorden: gravitatiekracht en cirkelbaan om de zon
- Woorden met signaalfunctie: welke twee voorwaarden (vraag om oorzakelijk verband)

Stap 2: Formuleer een slotzin

a. *Uitschrijven punt-woorden*

Cirkelbaan om de zon:

- Er is alleen sprake van een cirkelbaan als de resultante kracht gelijk is aan de middelpuntzoekende kracht:  $F_{res} = \frac{mv^2}{r}$ . Daarbij moet de snelheid (v), uit de formule loodrecht op de kracht en de straal (r) staan.
- Bij een cirkelbaan om de zon werkt er een gravitatiekracht van de zon op de aarde. ( $F_{Grav} = G \frac{mM}{r^2}$ )

Het achterliggende verband is dat resultante kracht die de oorzaak is van de cirkelbaan gelijk moet zijn aan de werkende gravitatiekracht:  $F_{res} = F_{Grav}$

b. *Schrijf een concluderende slotzin*

“Om voor de aarde om aan een perfecte cirkelbaan te voldoen moet gelden dat de kracht die op de aarde werkt loodrecht staat op de snelheidsvector en dat de gravitatiekracht even groot moet zijn als de middelpuntzoekende kracht.”

c. *check*

- Het **signaalwoord** (woorden combinatie) is “moet gelden dat” dit geeft een oorzakelijk verband aan.

## Voorbeeld 2 van een moeilijkere vraag..

De negatieve lading van het elektron houdt het elektron bij de kern. Het elektron kan zich in een bepaalde energie toestand bevinden, die iets zegt over de kinetische energie van het elektron.

Vraag: Leg uit waarom kan de kinetische energie van het elektron niet "nul" zijn

### Stap 1: analyseer de vraag.

- Doe-woord: leg uit.
- Puntwoorden: kinetische energie, niet "nul", energietoestand en negatieve lading.
- Woorden met signaal functie: waarom (vraagt om redengevend verband)

### Stap 2: Formuleer een slotzin

#### a. Uitschrijven punt-woorden

Kinetische energie:

- De kinetische energie van een elektron is de energie die in de "trilling" van het elektron om het molecuul zit :  $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$

"(kan) niet nul zijn"

- Niet nul zijn, verwijst naar de onzekerheidsrelatie van Heisenberg die aangeeft dat je op de kleinste schaal altijd een onzekerheid hebt over impuls en plek.  $\Delta p \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$

De overeenkomst tussen de kinetische energie en de onzekerheidsrelatie van Heisenberg is dat wanneer de snelheid "nul" ( $v=0$ ) is, dat dan de impuls ( $p=mv$ ) ook nul is, dus  $\Delta p$  "nul" is. Maar geldt dat als de snelheid "nul" is de plek van het elektron bepaalt kan worden, dus  $\Delta x$  "nul" is.

#### b. Schrijf een concluderende slotzin

"Wanneer de kinetische energie nul is dan is de snelheid van het elektron nul en kan zowel de plek als impuls van het deeltje worden bepaald. Dat zou de onzekerheidsrelatie van Heisenberg schenden. Daarom kan de kinetische energie van een deeltje niet nul zijn."

#### c. Check

- Hier wordt dus eerst een oorzakelijk verband gelegd en dat wordt gebruikt als argument (redengevend verband) om de vraag te beantwoorden.



## Vragenblad 1

### Vragen les 1

#### Trilling:

In een bepaalde opstelling hangt een metalen veer aan een ophangpunt. Onderaan de veer hangt een massa. Wanneer de massa in rust is hangt deze op hoogte  $h_{ew}$ .

1 Leg uit met de “wet van Hooke” wat voor verband er bestaat tussen de uitrekking van een ideale veer en de kracht die deze veer op de massa levert.

De massa wordt  $\Delta h$  naar beneden getrokken en los gelaten. In een ideale situatie begint de massa harmonisch te trillen.

2 Leg uit wat er bij harmonisch trilling constant wordt geacht.

3 Beredeneer op welke positie resultante kracht op de massa nul is.

4 Beredeneer waarom de hoogte tegen tijd ( $u, t$ ) grafiek geen “zaagtand” grafiek kan zijn

5 leg uit waarom, als dezelfde proef zou worden uitgevoerd in het “international space station (ISS)” dit niet zou leiden tot een harmonische trilling.

Aangenomen dat het massa veersysteem een gesloten systeem is waarvoor de wet van behoud van energie geldt.

6 Beredeneer dat er nog een energie moet zijn anders de zwaarte en kinetische energie, en geef aan waar deze energie “opgeslagen” wordt.

## **Vragenblad 2**

### **Licht:**

1 Leg uit wat de relatie is tussen de frequentie en de golflengte van hetzelfde licht.

2 leg uit wat de overeenkomst is tussen een lichtgolf en een geluidsgolf.

3 leg uit wat het verschil is tussen een lichtgolf en een geluidsgolf.

In een opstelling schijn je met een laser op een dubbele spleet. Achter de dubbele spleet staat een scherm geplaatst

4 Omschrijf in eigen woorden waarom je interferentie verschijnselen mag verwachten, wanneer je een dubbele spleet met laserlicht beschijnt.

## Antwoordenblad 1

### Antwoorden les 2 trilling

Vraag 1  
puntw

**Uitrekking**, de afstand ( $u$ ) tussen positie van de massa en de evenwichtsstand.

**Kracht**, de kracht die de veer op de massa levert als gevolg van uitrekking.

**De wet van Hooke:**  $F_{veer} = -Cu$

Theorie:

( $F_{veer} = -Cu$ ) dit is een recht evenredig verband tussen kracht en uitwijking.

Antw

Het verband tussen de uitrekking en de kracht is recht evenredig omdat de wet van Hooke geldt die aangeeft dat  $F = -C \cdot u$ .

Vraag 2  
puntw

**Harmonische trilling**, een herhalende beweging met vaste periode:  $u = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$

Theorie.

**Herhalend** betekent constante amplitude,

**vaste periode** betekent constante trillingstijd of frequentie.

Antw

Met een harmonische trilling wordt een herhalende beweging met een vaste periode bedoeld zonder dat deze gedempt wordt daarom wordt de trillingstijd of de frequentie en de amplitude constant geacht.

Vraag 3  
puntw

**Positie**, waar de massa op dat moment in de trilling is.

**Resultante kracht**, dat betekent dat in de som er sprake kan zijn van meerdere krachten

**Moet nul zijn**, boven vermelde krachten heffen elkaar op. (of er is geen kracht)

Theorie

De twee werkende krachten, zwaartekracht, (neerwaarts)  $F_z = mg$  en de veerkracht (opwaarts)  $F_{veer} = -Cu$ . Deze zijn samen nul als  $F_z + F_{veer} = 0$ , en dat is in rust, en in rust is  $u = h_{ew}$

antw

Op de massa werken twee krachten, de zwaartekracht en de veerkracht. Deze zijn even groot wanneer de massa op hoogte  $h_{ew}$  is. Daarom is op  $h_{ew}$  de resultante kracht op de massa nul. Of, op hoogte  $h_{ew}$  is de resultante kracht nul omdat de twee werkende krachten, zijnde de zwaartekracht en de veerkracht elkaar opheffen.

Vraag 4.  
Puntw

**u,t grafiek:** de grafiek waarop de hoogte afgeschilderd staat tegen de tijd.

**Zaagtand grafiek:** in zaagtang grafiek is er sprake van een abrupte wissel van neergaande naar een opgaande beweging (en andersom).

Theorie

Wanneer een plaats-tijd grafiek een punt vertoont moet de versnelling op die punten enorm moet zijn en daarmee ook de kracht. En uit de wet hierboven zie je dat dat niet zo is.

Antw

Omdat de kracht op de massa in het massaveersysteem, en daarmee de versnelling volgens de formules geleidelijk groeit (en dus geen piek vertoont) zal er een geleidelijke omkering van neergaande naar opgaande beweging te zien zijn, en dus abrupte wissel zoals bij een zaagtand.

Vraag 5

puntw	<b>Harmonische trilling</b> , een herhalende beweging met vaste periode: $u = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$
Theorie	<b>ISS:</b> het ruimtestation in een baan om de aarde waar geen zwaartekracht is.
Antw	Voor een trilling moet er ook een kracht zijn die de veer uitrekt. In het massaveersysteem in het ISS is geen zwaartekracht aanwezig. Na uitrekking zal de veer samentrekken en de massa tegen het ophangpunt aan botsen. Er zal dus ook geen trilling optreden
Vraag 6	
Puntw	<b>Zwaarte energie:</b> energie die in potentie aanwezig is vanwege het feit dat de massa zich op hoogte bevindt. <b>Kinetische energie:</b> energie die aanwezig is vanwege het feit dat de massa zich met een snelheid beweegt.
Theorie	Wet van energie behoud geeft aan dat op elk moment in de trilling, de totale hoeveelheid energie gelijk moet zijn. Dus de energie op het hoogste punt moet gelijk zijn aan de energie in het laagste punt. In het hoogste punt de zwaarte energie positief is en de kinetische energie nul, in het laagste punt is de zwaarte energie nul en de kinetische energie nul, dus moet de energie hier wel in een andere vorm opgeslagen worden. De veerkracht werkt gedurende het neergaan van de massa tegengesteld aan de verplaatsing. (negatieve arbeid) daardoor kan je er vanuit gaan de energie in de oprekking van de veer is opgeslagen.
Antw	Omdat op het hoogste punt de kinetische- plus de zwaarte-energie positief is, moet deze op het laagste punt ook zijn. Hier is echte de kinetische- en de zwaarte- energie nul dus moet de energie ergens in opgeslagen zijn. Terwijl de massa naar beneden (tegengesteld aan de veerkracht) gaat rekt deze de veer uit. Hierdoor wordt er energie opgeslagen in (het uitrekken van) de veer

## Antwoordenblad 2

### Antwoorden les 2 licht

Vraag 1

Puntw

**Frequentie**, is het aantal keer dat de lichtgolf per seconde "trilt"  $f = \frac{1}{T}$

**Golflengte**, is de fysieke afstand tussen twee golffronten van een lichtgolf.  $= \lambda$

Theorie

De lichtsnelheid is gelijk aan de frequentie maal de golflengte  $c = f\lambda$

Antw

De relatie tussen de frequentie en de golflengte van licht is omgekeerd evenredig omdat voor licht geldt dat  $f = \frac{c}{\lambda}$  en c is een constante

Vraag 2

Puntw

**Lichtgolf**, is een elektromagnetische straling in de vorm van een transversale golf die met een constante snelheid (c) voortbeweegt met een golflengte tussen de 400 en 750 nanometer.

**Geluidsgolf**, is een longitudinale drukgolf die zich verplaatst in een medium met een frequentie tussen de 20 Hz tot 20 kHz

Theorie

beide golven worden genoemd omdat ze golfeigenschappen bezitten als diffractie en interferentie. De beide golven dan ook worden omschreven als  $u = \sin(\omega t - \varphi)$ . Voor beide golven kun je dan ook spreken van: frequentie, fase, golflengte en golfsnelheid.

Antw

Een lichtgolf en een geluidsgolf worden beide genoemd omdat ze beiden golfeigenschappen bezitten als diffractie en interferentie. Ook kun je beide omschrijven als een sinus functie met een frequentie, fase, golflengte en golfsnelheid.

Vraag 3

Puntw

**Lichtgolf**, is een elektromagnetische straling in de vorm van een transversale golf die met een constante snelheid (c) voortbeweegt met een golflengte tussen de 400 en 750 nanometer.

**Geluidsgolf**, is een longitudinale drukgolf die zich verplaatst in een medium met een frequentie tussen de 20 Hz tot 20 kHz

Theorie

Ondanks dat beide golven worden genoemd omdat ze golfeigenschappen bezitten als diffractie en interferentie. Verschillen de golven omdat de geluidsgolf een longitudinale golf is die te beschrijven is als een drukgolf in een medium, en derhalve een medium nodig heeft om zich voort te plaatsen.

Antw

Een geluidsgolf en een lichtgolf verschillen van elkaar omdat een geluidsgolf een longitudinale drukgolf is die een medium nodig heeft om zich te verplaatsten en een lichtgolf een transversale elektromagnetische golf is die zich ook zonder medium kan verplaatsen.

Vraag 4

puntw

**Interferentie**, van interferentie is wanneer twee golven met gelijke frequentie elkaar treffen, waarbij op de plekken met een gelijke fase de resultaten elkaar zullen versterken, en op plekken waar de golven in tegenfase zijn .

**Laserlicht** is licht van een enkele golflengte/frequentie met gelijke fase

**Dubbele spleet**, wanneer deze beschenen wordt met licht kun je dit beschouwen als twee puntbronnen van licht.

Theorie

De dubbele spleet creëert twee puntbronnen laserlicht van dus gelijk frequentie en gelijke fase. Achter de spleet zullen plekken zijn met verschillende afstanden zijn tot

de twee “puntbronnen” op die plekken zal er sprake zijn van verschil in fase en dus interferentie.

Antw

Bij het beschijnen van een dubbele spleet met laserlicht, worden twee “identieke” lichtbronnen gecreëerd van monochroom licht. Op verschillende plekken achter het scherm met verschillende afstand tot de twee puntbronnen zal de fase van de lichtgolven gaan verschillen en er dus interferentieverschijnselen optreden.

### Bijlage 6: Gemiddelde relatieve scores schoolexamen 2 en 3.

Schoolexamen 02		relatieve scores																max w	gem scc	soort vraag
vraag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
1	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,00	0,75	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	4	0,14	werk uit	
2	1,00	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,00	0,50	0,50	0,50	2	0,28	bereken	
3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	2	0,27	bereken	
4	0,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50	1,00	0,00	1,00	0,50	0,50	2	0,44	begrip	
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0,04	begrip	
6	1,00	0,00	1,00	0,00	0,67	0,33	0,33	0,33	0,00	1,00	0,33	0,00	0,00	0,33	0,33	0,00	3	0,35	begrip	
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	0,00	begrip	
8	0,50	0,00	0,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	0,31	begrip	
9	0,75	0,00	0,50	0,25	0,75	0,25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,25	0,75	0,00	0,00	0,75	0,00	4	0,45	bereken	
10	0,33	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	3	0,10	begrip	
11	0,67	0,33	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67	0,00	0,67	1,00	0,67	0,00	1,00	0,00	3	0,44	werk uit	
12	0,00	1,00	1,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	2	0,22	werk uit	
13	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2	0,19	begrip	
14	0,00	0,00	0,33	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0,08	begrip	
15	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2	0,22	bereken	
16	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3	0,06	bereken	
17	0,67	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00	3	0,07	begrip	
	0,23	0,13	0,29	0,25	0,31	0,17	0,17	0,27	0,00	0,25	0,19	0,25	0,13	0,17	0,19	0,06		0,19		
Schoolexamen 03		relatieve scores																max w	gem scc	soort vraag
vraag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
1	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00		0,50	0,50	0,50		0,50	1,00	0,50	1,00	2	0,36	werk uit	
2	0,67	0,33	0,00	0,67	0,00	0,67	0,33		0,33	0,00	0,67		0,67	0,33	0,67	0,67	3	0,43	bereken	
3	0,67	1,00	0,67	1,00	0,67	0,00	0,67		0,67	0,00	0,67		0,67	1,00	1,00	0,33	3	0,64	werk uit	
4	0,00	0,33	0,00	0,67	0,00	0,00	0,67		0,33	0,00	0,67		0,67	0,33	0,67	0,00	3	0,31	werk uit	
5	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,33	0,00	3	0,05	werk uit	
6	0,60	0,60	0,00	0,20	0,40	0,00	0,60		0,20	0,60	0,00		0,60	0,00	0,60	0,60	5	0,36	bereken	
7	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,50		0,00	0,50	0,50		0,50	1,00	0,50	0,00	2	0,39	begrip	
8	0,67	0,33	0,67	1,00	0,33	0,67	0,67		0,67	0,00	0,67		1,00	1,00	1,00	1,00	3	0,69	bereken	
9	0,50	0,00	0,50	1,00	0,50	0,00	0,50		0,00	0,00	1,00		0,00	0,00	0,50	0,50	2	0,36	bereken	
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00		1,00	1,00	1,00	0,50	2	0,96	werk uit	
11	0,20	0,40	0,40	0,40	0,20	0,00	0,20		0,60	0,20	0,20		0,60	0,40	0,60	0,00	5	0,31	werk uit	
12	1,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,50	0,75		0,00	1,00	0,25		0,50	0,75	0,75	0,00	4	0,46	begrip	
	1,00	0,00	0,25	0,00	0,75	0,25	0,63		0,00	0,75	0,38		0,50	0,88	0,63	0,00		0,43		

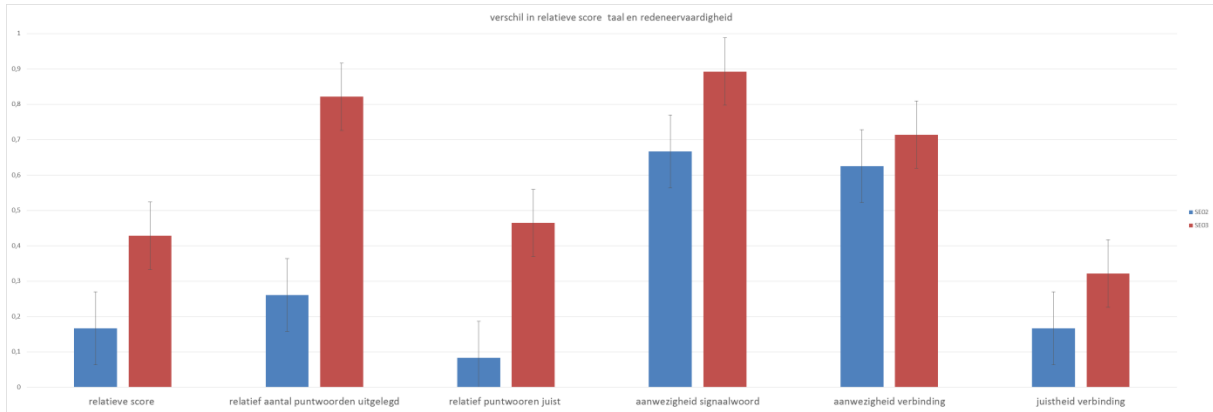
T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties

	Variabele 1	Variabele 2
Gemiddelde	0,190104167	0,428571429
Variatie	0,007110822	0,124313187
Waarnemingen	16	14
Schatting van verschil tussen gemiddelden	0	
Vrijheidsgraden	14	
T- statistische gegevens	-2,469613764	
P(T<=t) eenzijdig	0,013502229	
Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,761310136	
P(T<=t) tweezijdig	0,027004457	
Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	2,144786688	

## Bijlage 7: Methode-evaluatie schoolexamen 2 en 3.

schoolexamen 2											schoolexamen 3																
leefing	vraag nummer	hoeveel punten voor vraag	aantal punten gescoord	relatieve score	aantal punten in vraag	aantal punten uitgelegd	juistheid punten	relatief aantal punten uitgelegd	relatief punten juist	aanwezigheid signaalwoord	aanwezigheid verbinding	juistheid verbinding	leefing	vraag nummer	hoeveel punten voor vraag	aantal punten gescoord	relatieve score	aantal punten in vraag	aantal punten juist uitgelegd	juistheid punten	relatief aantal punten uitgelegd	relatief punten juist	aanwezigheid signaalwoord	aanwezigheid verbinding	juistheid verbinding		
1	7	2	0	0	2	2	1	1	0,5	1	1	1	1	7	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1		
	8	2	1	0,5	2	0	0	0	0	0	0	0		12	4	4	1	2	2	2	1	1	1	1	1		
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0														
2	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	7	2	0	0	2	2	0	1	0	1	0	0		
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0		12	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
	13	2	1	0,5	2	1	1	0,5	0,5	0	1	1															
3	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	7	2	0	0	2	2	0	1	0	1	1	0		
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0		12	4	2	0,5	2	2	1	1	0,5	1	1	0	
	13	2	1	0,5	2	2	1	1	0,5	1	1	1	0														
4	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	4	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0	
	8	2	1	0,5	2	0	0	0	0	0	1	1	0		12	4	0	0	2	2	0	1	0	1	0	0	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
5	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	0	0	5	7	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	8	2	2	1	2	1	0	0,5	0	1	1	1			12	4	2	0,5	2	2	2	1	1	1	1	1	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
6	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	0	1	0	0	
	8	2	1	0,5	2	2	0	1	0	1	1	1	0		12	4	2	0,5	2	2	2	1	1	1	1	1	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
7	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0	7	7	2	1	0,5	2	2	2	1	1	1	1	1	0	
	8	2	2	1	2	2	1	1	0,5	1	1	1			12	4	3	0,75	2	2	1	1	0,5	1	1	1	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
8	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	8													
	8	2	1	0,5	2	1	0	0,5	0	1	1	1															
	13	2	1	0,5	2	1	1	0,5	0,5	1	1	1															
9	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	0	0	0	9	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	0	0	0	
	8	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0			12	4	0	0	2	2	1	1	0,5	1	0	0	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
10	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0	10	7	2	1	0,5	2	2	1	1	0,5	1	0	0	0	
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0			12	4	4	1	2	2	2	1	1	1	1	
	13	2	1	0,5	2	1	1	0,5	0,5	1	1	0															
11	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11	7	2	1	0,5	2	1	1	0,5	0,5	1	1	0	0	
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0			12	4	1	0,25	2	2	0	1	0	1	1	0
	13	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0															
12	7	2	0	0	2	2	0	1	0	1	1	0	12														
	8	2	2	1	2	0	0	0	0	1	1	1															
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0														
13	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	13	7	2	1	0,5	2	1	0	0,5	0	1	1	0	
	8	2	0	0	2	1	0	0,5	0	1	1	0			12	4	2	0,5	2	0	0	0	0	0	0	0	
	13	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1															
14	7	2	0	0	2	1	0	0,5	0	0	0	0	14	7	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0		12	4	3	0,75	2	2	1	1	0,5	1	1	0	
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0														
15	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0	15	7	2	1	0,5	2	1	1	0,5	0,5	1	1	0	
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	0			12	4	3	0,75	2	2	2	1	1	1	1	1
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0														
16	7	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	16	7	2	0	0	2	2	0	1	0	1	0	0	0	
	8	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0			12	4	0	0	2	2	1	1	0,5	1	1	0
	13	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0														
gem		2	0,33	0,17	2,00	0,52	0,17	0,26	0,08	0,67	0,63	0,17	gem		3,00	1,32	0,43	2,00	1,64	0,93	0,82	0,46	0,89	0,71	0,32		





relatieve score			aanwezigheid signaalwoord		
T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties			T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties		
	$p < 0,01$			$p < 0,02$	
	Variabele 1	Variabele 2		Variabele 1	Variabele 2
Gemiddelde	0,16666667	0,428571429	Gemiddelde	0,666667	0,892857
Variantie	0,09929078	0,142857143	Variantie	0,22695	0,099206
Waarnemingen	48	28	Waarnemingen	48	28
Schatting van verschil tussen gemiddelden	0		Schatting van verschil tussen gemiddelden	0	
Vrijheidsgraden	49		Vrijheidsgraden	73	
T- statistische gegevens	-3,092898619		T- statistische gegevens	-2,48708	
P(T<=t) eenzijdig	0,001634408		P(T<=t) eenzijdig	0,007583	
Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,676550893		Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,665996	
P(T<=t) tweezijdig	0,003268815		P(T<=t) tweezijdig	0,015165	
Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	2,009575237		Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	1,992997	
relatief aantal puntwoorden uitgelegd			aanwezigheid verbinding		
T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties			T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties		
	$p < 0,01$			$p = 0,43$	
	Variabele 1	Variabele 2		Variabele 1	Variabele 2
Gemiddelde	0,260416667	0,821428571	Gemiddelde	0,625	0,714286
Variantie	0,127548759	0,096560847	Variantie	0,239362	0,21164
Waarnemingen	48	28	Waarnemingen	48	28
Schatting van verschil tussen gemiddelden	0		Schatting van verschil tussen gemiddelden	0	
Vrijheidsgraden	63		Vrijheidsgraden	60	
T- statistische gegevens	-7,179569274		T- statistische gegevens	-0,79715	
P(T<=t) eenzijdig	4,85755E-10		P(T<=t) eenzijdig	0,214253	
Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,669402222		Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,670649	
P(T<=t) tweezijdig	9,71511E-10		P(T<=t) tweezijdig	0,428505	
Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	1,998340543		Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	2,000298	
relatief aantal puntwoorden juist			juistheid verbinding		
T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties			T-toets: twee steekproeven met ongelijke varianties		
	$p < 0,01$			$p = 0,15$	
	Variabele 1	Variabele 2		Variabele 1	Variabele 2
Gemiddelde	0,083333333	0,464285714	Gemiddelde	0,166667	0,321429
Variantie	0,046099291	0,183862434	Variantie	0,141844	0,22619
Waarnemingen	48	28	Waarnemingen	48	28
Schatting van verschil tussen gemiddelden	0		Schatting van verschil tussen gemiddelden	0	
Vrijheidsgraden	35		Vrijheidsgraden	47	
T- statistische gegevens	-4,390986659		T- statistische gegevens	-1,47337	
P(T<=t) eenzijdig	4,96769E-05		P(T<=t) eenzijdig	0,073659	
Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,689572458		Kritiek gebied van T-toets: eenzijdig	1,677927	
P(T<=t) tweezijdig	9,93538E-05		P(T<=t) tweezijdig	0,147318	
Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	2,030107928		Kritiek gebied van T-toets: tweezijdig	2,011741	

**Bijlage 8: begripsvragen schoolexamen 2.**

7	Leg uit door middel van het ontbinden van de gravitatie(kracht)vector, dat dit zorgt voor een snelheid om de zon die niet constant is.
8	Beredeneer op welke plek in de ellipsbaan om de zon, de aarde zijn laagste snelheid heeft.
13	Geef aan hoe het magnetisch veld, richting en grootte), verandert wanneer de spanning over de spoelen twee maal groot wordt.

**Bijlage 9: begripsvragen schoolexamen 3.**

7	Leg uit hoe met een dynamo spanning wordt opgewekt. Gebruik daarbij in ieder geval het woord <i>flux</i> .
8	<ul style="list-style-type: none"><li>- Leg uit of een grotere waarde van <math>k</math> betekent dat 'er meer water door de buis stroomt' of dat er 'er minder water door de buis stroomt'.</li><li>- Leid de eenheid van <math>k</math> af.</li></ul>