

UNIVERSITY OF TWENTE.

ONDERZOEK VAN ONDERWIJS

MASTER EDUCATIE EN COMMUNICATIE IN DE BÈTAWETENSCHAPPEN

Het doel van Quantum

*Een ontwerponderzoek naar de invulling van onderwijsdoelen
in het quantumonderwijs.*



Auteur

Bart FOLKERS (BSc.)

Beoordelingscommissie

Dr. Ir. Henk POL

Dr. Ed VAN DEN BERG

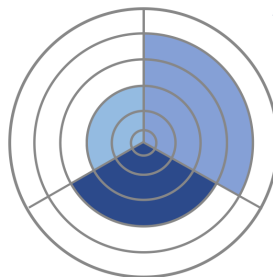
21 juli 2021

Samenvatting

Dit onderzoek gaat in op de onderwijsdoelen van Quantumwereld in het middelbaar onderwijs en de invulling van deze onderwijsdoelen in de onderwijspraktijk. Onderwijsdoelen beantwoorden de vraag met welk doel natuurkunde, of in dit geval Quantumwereld, in het middelbaar onderwijs gegeven wordt. Het onderzoek probeert hiermee de ontwikkelingen in de huidige onderwijspraktijk rondom het quantumonderwijs te ondersteunen. Het onderzoek laat zien op welke manier onderwijsdoelen een rol spelen in de vorming van het curriculum en op welke manieren de onderwijsdoelen kunnen worden samengevat in onderwijsaccenten. Hoewel uit literatuuronderzoek is gebleken dat er geen expliciete onderwijsdoelen zijn opgesteld voor het domein Quantumwereld, wordt er wel impliciet gebruik gemaakt van de onderwijsdoelen van het natuurkundeonderwijs in het algemeen. Deze onderwijsdoelen kunnen worden samengevat via verschillende accentverdelingen. De onderstaande accentverdeling is voor dit onderzoek gebruikt en komt daarnaast op verschillende plekken terug in de context van het Nederlandse natuurkunde onderwijs.

3. Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.



1. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

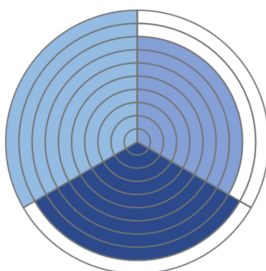
Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

2. Persoonlijke ontwikkeling

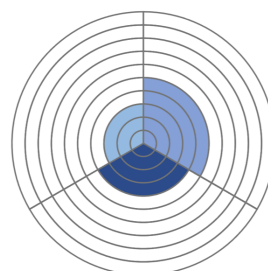
Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Tijdens dit onderzoek is er een evaluatiemodel ontwikkeld om de invulling van de onderwijsdoelen van Quantumwereld in kaart te brengen. Een adviesdocument, acht centrale examens, drie leerboeken en drie docenten zijn geanalyseerd om te onderzoeken wat de beoogde onderwijsdoelen van Quantumwereld zijn en hoe dit in de praktijk invulling krijgt.

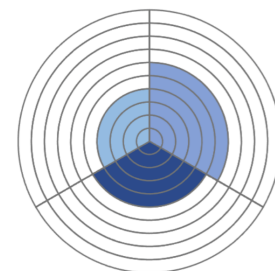
NiNa-Advies



Centraal Examen



Leerboeken



-
- **Adviesrapport examenprogramma Nieuwe Natuurkunde.** In het adviesdocument Nieuwe Natuurkunde (NiNa) is in 2010 een voorstel gedaan om quantummechanica toe te voegen aan het curriculum. In dit document wordt (impliciet) aangegeven waarom Quantumwereld past in het curriculum en komt dus het dichtst bij een indicatie voor de beoogde onderwijsdoelen van Quantumwereld. Dit onderzoek laat zien dat het NiNa-rapport invulling probeert te geven aan alle drie onderwijsaccenten met een nadruk op *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Het NiNa-advies ziet voor Quantumwereld een kans om met (algemene) toepassingen en nieuwe contexten de maatschappelijke impact van wetenschap te laten zien en een oriëntatie te bieden op de natuurwetenschappen.
 - **Centraal Schriftelijk Eindexamen.** Het centraal schriftelijk examen is in de praktijk normatief voor de onderwijspraktijk, dat laat ook dit onderzoek zien. Dit geldt zowel voor leerboeken als docenten. Het examen zelf geeft op verschillende manieren en in verschillende mate invulling aan onderwijsdoelen. Dit onderzoek laat zien dat het CE bij vragen over het domein Quantumwereld de meeste nadruk legt op het accent *Voorbereiding Wetenschappelijk Onderwijs*. De examenopgaven werken door middel van context-rijke vragen, hoewel in mindere mate, ook aan *Persoonlijke Ontwikkeling*. De examens laten daarnaast indirect zien hoe modelmatig er al met het domein Quantumwereld wordt omgegaan.
 - **Leerboeken.** De drie onderzochte leerboeken leggen de meeste nadruk op onderwijsdoelen gekoppeld aan *Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs* zoals het Centraal Examen dat ook doet. Er is gebleken dat auteurs hierin wel voor enige eigen invulling hebben gekozen en dat accentverdelingen kunnen verschillen per leerboek. Uit het onderzoek is ook gebleken dat opgaven een belangrijke rol hebben in de uitkomst in accentverdeling. Het blijkt dat de opgaven primair invulling geven aan *Persoonlijke Ontwikkeling* en *Voorbereiding voor het WO*.
 - **Docenten.** Dit onderzoek laat zien dat ook docenten bewust en onbewust in verschillende mate invulling geven aan de onderwijsaccenten. De docent is als drager en vormer van het leerproces ook de belangrijkste factor kijkende naar de praktische invulling van onderwijsdoelen in de lessen. Bij alle drie betrokken docenten kwam naar voren dat ze meer aandacht zouden willen geven aan *De Cultuur en Structuur van Wetenschap*.

Dit onderzoek geeft in het verslag per onderdeel enkele aanbevelingen aan de hand van de uitvoerige analyses tussen de verschillende onderdelen. Het onderzoek laat zien dat er voldoende ruimte bestaat om op deze manier verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk op hun implementatie van het domein Quantumwereld te evalueren.

Met de bovengenoemde analyses, en met behulp van twee testrondes met respondenten, concludeert dit onderzoek dat het evaluatiemodel laat zien dat evalueren op basis van onderwijsdoelen inzichten biedt die aan kunnen zetten tot reflectie en verbetering. Deze inzichten blijven wel gebonden aan de interpretatie van de gebruiker. Dit onderzoeksverslag probeert daarmee de lezer bewust te maken om na te denken over het doel van Quantumonderwijs en hoe dat op dit moment in de onderwijspraktijk beter op elkaar afgestemd zou kunnen worden. Daarnaast laat het evaluatiemodel de potentie zien van een applicatie die in korte tijd evaluatiepunten kan bieden voor zowel docenten als leerboekontwikkelaars en examenmakers.

Inhoudsopgave

1	Introductie	7
2	Literatuur	9
2.1	Wat zijn onderwijsdoelen?	9
2.2	Hoe krijgen onderwijsdoelen invulling in de onderwijspraktijk?	10
2.3	Hoe kunnen we onderwijsdoelen verdelen en herkennen?	13
3	Methode van dit onderzoek	15
3.1	Wat is de opzet van dit onderzoek?	15
3.2	Welke middelen zijn er gebruikt?	17
4	Evaluatiemodel	18
4.1	Ontwerpcyclus	18
4.2	Gebruik & Interpretatie Evaluatiemodel	22
5	Implementatie en Resultaten	23
5.1	Adviesrapport examenprogramma NiNa	23
5.2	Centraal Schriftelijk Examen	28
5.3	Leerboeken	32
5.4	Docenten	36
6	Conclusie en Aanbeveling	42
6.1	De Effectiviteit van het Evaluatiemodel	42
6.2	De Onderwijsdoelen van Quantumwereld	44
6.3	Adviesrapport examenprogramma NiNa	45
6.4	Centraal Schriftelijk Examen	45
6.5	Leerboeken	46
6.6	Docenten	47
7	Dankwoord en Contactgegevens	48
	Bibliografie	49
	Appendices	53
A	Ontwerpcyclus Evaluatiemodel	54
B	Koppeling Onderwerpen, Literatuur en Onderwijsaccenten	83
C	Data NiNa-advies	86

D Data Centraal Examen	91
E Data Leerboeken	101
F Data Docenten	121
G Variaties Visueel Resultaat (Diagrammen)	127
H Accentverdelingen	129

HOOFDSTUK 1

Introductie

Jaarlijks komen er tientallen scholieren naar de open dag van de opleiding Technische Natuurkunde aan de Universiteit Twente. Tijdens de oriëntatiegesprekken met de studietoelating wordt dan regelmatig de vraag gesteld welk onderwerp ze binnen de Natuurkunde het meest interessant vinden. Een meerderheid van de studietoelatingen antwoordt dan gepassioneerd met ‘quantummechanica’. Het onderwerp is relatief ‘nieuwe natuurkunde’ en krijgt sinds 2013 structurele ruimte in het curriculum op middelbare scholen [1][2]. Quantummechanica heeft voor veel leerlingen iets ‘exotisch’ met bijzondere en voor velen onverklaarbare verschijnselen. Het onderwerp wordt regelmatig als ‘niet te begrijpen’ gekarakteriseerd [3]. De Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs benoemt dit niet te begrijpen onderwerp met aan de andere kant veel toepassingen, een ‘intrigerende combinatie’ voor het examenprogramma [2].

Aan de andere kant ondervinden zowel leerlingen als docenten moeite rondom het quantumonderwijs [4]. Ook het toetsen van kennis van quantummechanica blijkt uitdagingen met zich mee te brengen [5]. Een aantal redenen die genoemd worden is het tegen-intuïtieve karakter van quantummechanica, het gebrek aan context vanuit de dagelijkse leefomgeving en de grote hoeveelheid misconcepten bij leerlingen en docenten [6][7]. Dit wordt ook ervaren binnen het universitaire onderwijs [8]. Daarnaast is er in 2019 een verkennende evaluatie over de Natuurkunde CE-syllabus gedaan bij docenten. Hieruit is naar voren gekomen dat een significant gedeelte aan opmerkingen en kritiek gericht waren op het subdomein *Quantumwereld*. Men was van mening dat het subdomein nog steeds in het CE thuishoort, maar dat ‘de syllabus grondig dient herzien te worden’ op dit punt [9]. Naast enkele evaluaties en oriëntaties op het onderwerp zelf wordt er ook op didactisch vlak veel ontwikkeld. Zo is er een breed scala aan middelen ontwikkeld en voorgesteld om het leren te ondersteunen. Van het gebruik van bepaalde practica tot het gebruik van numerieke modellen en applets tot het aanbieden van aanvullende lesmodules [10].

Al deze ontwikkelingen rondom het quantumonderwijs zetten aan het denken met welk doel quantummechanica eigenlijk in het middelbaar onderwijs gegeven wordt. Het belangrijk om de ontwikkelingen en bevindingen na een aantal jaar Quantumwereld te evalueren aan de hand van de oorspronkelijke doelen [11]. Veel onderwijskundige literatuur noemt dan ook het nut van onderwijsdoelen en leerdoelen [12][13]. Zonder eenduidige doelen kan men op zichzelf goedwerkende applets of andere didactische middelen introduceren, maar dat garandeert nog niet dat deze middelen het quantumonderwijs daardoor werkelijk verbeteren. Uiteindelijk moeten deze methoden zich spiegelen ten opzichte van wat de leerlingen moeten kunnen en nog belangrijker, waartoe leerlingen dit behoren te weten [14].

Dit onderzoek probeert daarom de onderwijsdoelen van Quantumwereld in het middelbaar onderwijs en de invulling van deze onderwijsdoelen in de onderwijspraktijk in kaart te brengen. Het onderzoek wil hiermee de ontwikkelingen in de huidige onderwijspraktijk rondom het quantumonderwijs ondersteunen en verbeteren. Daarnaast probeert het handvatten te geven aan docenten, didactici en beleidsmakers om voor henzelf inzichtelijk te krijgen op welke onderwijsdoelen zij de meeste nadruk leggen in het quantumonderwijs. Daarmee is het onderzoek in twee onderzoeksvragen op te delen:

1. *Kunnen we de doelstellingen van het quantumonderwijs in het middelbaar onderwijs in kaart brengen, en kunnen we daarbij inzichtelijk maken in welke mate deze onderwijsdoelen invulling krijgen in de onderwijspraktijk?*

In het tweede hoofdstuk van dit verslag wordt besproken wat onderwijsdoelen zijn, hoe onderwijsdoelen invulling krijgen op verschillende plekken in de onderwijspraktijk en hoe we onderwijsdoelen kunnen verdelen en herkennen. Om onderwijsdoelen te herkennen werkt dit onderzoek met een evaluatiemodel. Hierbij hoort de tweede onderzoeksvraag.

2. *Kunnen we een evaluatiemodel ontwikkelen dat als 'proof of concept' dient voor het evalueren van de onderwijspraktijk op basis van het implementeren van onderwijsdoelen?*

Tijdens het onderzoek zal het evaluatiemodel als hulpmiddel dienen om de invulling van de onderwijsdoelen van Quantumwereld in kaart te brengen. Op deze manier zal de uitvoering van de eerste onderzoeksvraag bijdragen aan het beantwoorden van de tweede onderzoeksvraag. De methode van dit onderzoek wordt behandeld in hoofdstuk drie. De details van het evaluatiemodel worden toegelicht in hoofdstuk vier en Appendix A. De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in hoofdstuk vijf.

Hoewel een evaluatie rondom onderwijsdoelen in essentie behulpzaam kan zijn voor de gehele context van het natuurkunde onderwijs, is de context van dit onderzoek gespecificeerd op het quantumonderwijs op middelbare scholen. Dit domein is daarmee een afgebakend gebied voor het onderzoek en waarborgt de uitvoerbaarheid van het onderzoek met de hiervoor beschikbare middelen. Het domein *Quantumwereld* wordt op het moment van dit onderzoek in de zesde klassen van het vwo gegeven. Andere domeinen binnen natuurkunde hebben door hun lange geschiedenis binnen het onderwijs al meerdere jaren aan optimalisatie achter de rug en hebben daarmee meer mogelijkheden gehad om beter aan te sluiten bij de beoogde onderwijsdoelen. Dit staat in contrast met het relatief jonge onderwerp quantummechanica. Het is dan ook niet opvallend dat de meeste revisie opmerkingen rondom de syllabus gericht zijn op het domein *Quantumwereld* zoals hiervoor al geconcludeerd is [9].

Vanuit de context van het quantumonderwijs zal duidelijk kunnen worden of dit onderzoek ook in de brede zin van het natuurkundeonderwijs handvatten kan geven om te reflecteren op het behalen van onderwijsdoelen, zowel in de onderwijspraktijk als in de praktijk rondom het vormen van het (ministeriële) beleid hierop. In hoofdstuk zes worden de onderzoeksvragen beantwoord met de bijbehorende conclusies en aanbevelingen uit dit onderzoek.

HOOFDSTUK 2

Literatuur

Voordat we de invulling van onderwijsdoelen kunnen bespreken bekijken we eerst wat onderwijsdoelen zijn, welke onderwijsdoelen we voor het vak Natuurkunde kennen, hoe onderwijsdoelen invulling krijgen op verschillende plekken in de onderwijspraktijk en hoe we onderwijsdoelen kunnen verdelen en herkennen.

2.1 Wat zijn onderwijsdoelen?

Duidelijke doelen zijn belangrijk voor een effectief leerproces. Wanneer bij de docent en leerling niet helder is wat de doelen van het leerproces zijn, verzwakt dit zowel de betekenis als de effectiviteit van het onderwijs [12]. Dit geldt ook voor het quantumonderwijs. In de onderwijspraktijk hebben we het vaak over *leerdoelen* [15]. Deze leerdoelen worden gebaseerd op het curriculum en het examenprogramma dat onder de verantwoordelijkheid van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap wordt opgesteld [16]. Leerlingen komen doorgaans het meest in aanraking met leerdoelen die hun docenten zelf geformuleerd hebben. Denk bijvoorbeeld aan: 'Je moet in eigen woorden het verschil kunnen opnoemen tussen het Golfmodel en het Deeltjesmodel' of 'je moet de grondtoestand kunnen uitrekenen van een deeltje in een doosje'. Het curriculum zelf wordt gebaseerd op zogenaamde *onderwijsdoelen*. Onderwijsdoelen komen dus eigenlijk een stap eerder om de hoek kijken, bij het bepalen van het examenprogramma. Deze onderwijsdoelen beantwoorden in essentie waarom, of beter gezegd waartoe, natuurkunde in het middelbaar onderwijs gegeven wordt [14] [13]. Een voorbeeld zou kunnen zijn: 'We behandelen het Golfmodel en het Deeltjesmodel zodat leerlingen leren over het doel en de werking van natuurkundige modellen.' We zien dat leerlingen in de praktijk meer met onderwijsdoelen bezig zijn dan met leerdoelen. De vraag 'waarom moet ik dit kennen?' of 'wat heb ik hier nu aan?' wordt regelmatig gesteld [12]. Onderwijsdoelen zouden hier dus een antwoord op moeten geven en helpen ons dus om de onderwijspraktijk te evalueren.

De keuze om meer of minder invulling te geven aan bepaalde onderwijsdoelen, kan in de onderwijspraktijk nog een uitdaging zijn. Sommige onderwijsdoelen focussen zich bijvoorbeeld meer op een select gedeelte van de leerlingen [17]. Dit kunnen bijvoorbeeld toekomstige bèta/techniek-studenten zijn. Daarnaast zijn sommige onderwijsdoelen niet gemakkelijk gezamenlijk te behalen. Verschillende doelstellingen kunnen op zichzelf namelijk al een dergelijke 'spanning' met zich meebrengen. Volgens Leijnse is dit ook meestal het geval in het vwo-onderwijs: "*Enerzijds een brede opleiding voor velen ... en anderzijds een conceptueel dieper gravende behandeling, die oriënterend en voorbereidend wil zijn voor een natuurwetenschappelijke opleiding voor diegenen die daarvoor kiezen*

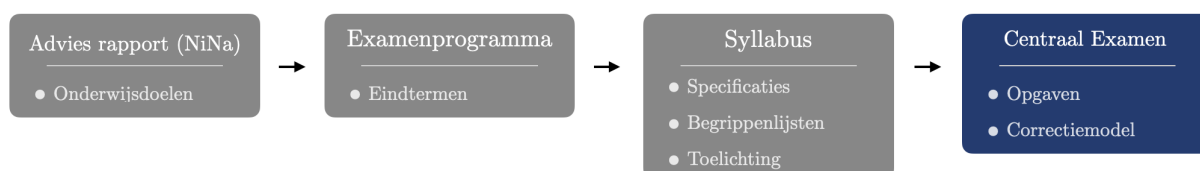
[18].”Er zijn al verschillende aanpakken voorgesteld om deze spanning te verhelpen zoals nieuwe herverdelingen of het introduceren van nieuwe vakken zoals ANW of NLT [19].

2.2 Hoe krijgen onderwijsdoelen invulling in de onderwijspraktijk?

Onderwijsdoelen komen in de hele onderwijspraktijk terug. Dit betekent dat zowel didactici als beleidsmakers met onderwijsdoelen in aanraking komen. Deze paragraaf laat zien op welke manier onderwijsdoelen vorm krijgen en welke betrokkenen op welke manier vorm aan geven in het proces. Dit helpt om beter te begrijpen wat de oorspronkelijke onderwijsdoelen voor Quantumwereld waren en hoe dit in de praktijk invulling krijgt. We zouden de volgende betrokkenen in het onderwijssysteem op de volgende manier kunnen verdelen [16]:

- Curriculumontwikkelaars (NiNa-commissie, SLO)
- Syllabusontwikkelaars (CvTE)
- Examenontwikkelaars (CITO, CvTE)
- Leerboekontwikkelaars
- Docenten

We kijken hiermee alleen naar de betrokkenen die het meeste inhoudelijk het onderwijs vormgeven. Deze betrokkenen hebben op verschillende plaatsen invloed op deze onderwijsdoelen [20] [21]. In figuur 2.1 is een versimpelde weergave te zien hoe onderwijsdoelen landelijk in het natuurkundeonderwijs terecht komen.

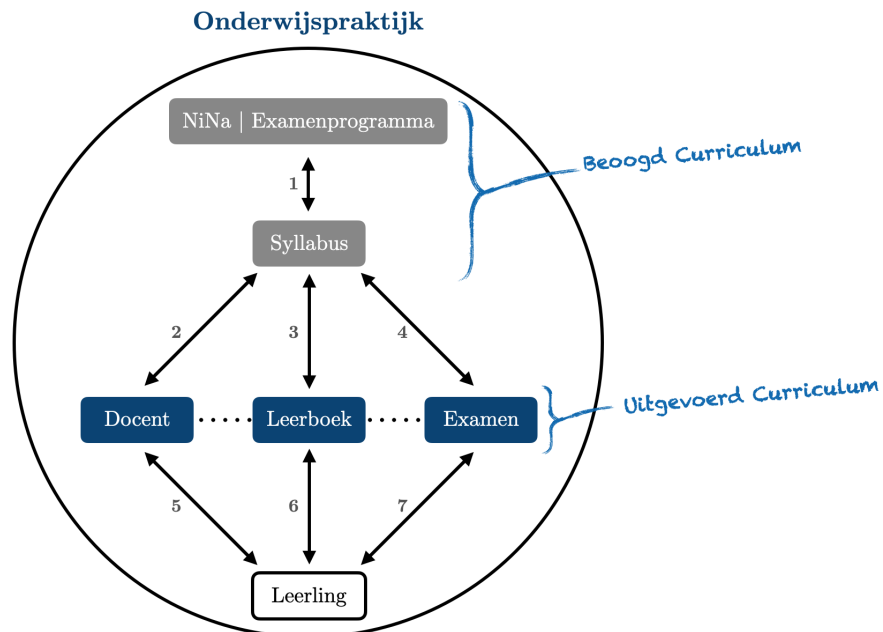


Figuur 2.1: Versimpelde weergave hoe onderwijsdoelen centraal het onderwijs vormgeven.

Ten grondslag aan het examenprogramma liggen adviesrapporten van commissies zoals de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs (doorgaans ook CVN of NiNa-commissie genoemd). Deze commissies zijn aangesteld door het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. In dergelijke documenten wordt de staat van het natuurkundeonderwijs behandeld en wordt er geadviseerd welke richting het onderwijs in de toekomst moet gaan. In deze commissies zitten met name hoogleraren, docenten en lerarenopleiders. In het adviesdocument Nieuwe Natuurkunde (NiNa) is in 2010 een voorstel gedaan om quantummechanica toe te voegen aan het curriculum [2]. In dit document worden op verschillende plekken voorbeelden gegeven waarom de betreffende domeinen belangrijk zijn voor het curriculum. Hier zijn dus impliciet bepaalde onderwijsdoelen uit te halen. Het ministerie brengt vervolgens het examenprogramma uit met daarin eindtermen die op het centraal schriftelijk examen (CE) getoetst kunnen worden. De eindtermen worden nader gespecificeerd in de syllabus die door het College voor Toetsen en Examens wordt

vastgesteld (CvTE). In opdracht van het CvTE krijgt CITO de opdracht om vervolgens een examen te ontwikkelen. Daarnaast biedt de Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO) ter advies verschillende handreikingen en leerplannen aan om docenten te ondersteunen. Het is belangrijk om hierbij te noemen dat dit een versimpelde weergave is van de situatie. In de praktijk hebben verschillende organisaties formeel en informeel contact en ondersteunen ze elkaar. Daarnaast is er een lange voorgeschiedenis van onderwijsexperimenten met moderne natuurkunde voordat NiNa tot een advies kwam. Een voorbeeld hiervan is het Project Moderne Natuurkunde dat sinds 1997 op verschillende scholen werd toegepast [22].

Hoewel de documenten die hierboven zijn genoemd rijk gevuld zijn met leerdoelen, worden de onderwijsdoelen niet specifiek benoemd. De eindtermen bijvoorbeeld zijn niet gelijk aan de onderwijsdoelen zelf. De eindtermen zijn in dit geval het middel om deze onderwijsdoelen mee te behalen. De vraag waarom men quantummechanica in het middelbaar onderwijs wil aanbieden wordt daarmee hooguit indirect behandeld. Het blijkt dat in geen van de hierboven genoemde literatuur de onderwijsdoelen in één keer gestructureerd en expliciet genoemd worden. Toch zijn de onderwijsdoelen wel op verschillende manieren in deze documenten impliciet verwerkt zoals hierboven is toegelicht. Tijdens het onderzoek worden deze onderwijsdoelen met behulp van een evaluatiemodel inzichtelijk in kaart gebracht zodat deze onderwijsdoelen met de onderwijspraktijk geëvalueerd kunnen worden.



Figuur 2.2: Versimpeld model van de onderwijspraktijk.

De gemiddelde leerling komt in de praktijk natuurlijk met meer onderdelen in aanraking dan alleen met het centraal examen. De gehele onderwijspraktijk is namelijk breder dan alleen beleidsdocumenten en het examen. Om de relevante onderdelen uit de onderwijspraktijk en hun onderlinge relaties in kaart te brengen maken we gebruik van de *didactische driehoek* [23]. Volgens dit model hebben onderwijsdoelen invloed op het *material* en de *methode* waarmee het onderwijs aangeboden wordt. Vanuit deze gedachte is in figuur 2.2 de onderwijspraktijk versimpeld in kaart gebracht. Dit model sluit aan op de onderwijspraktijk zoals de leerling deze beleeft en kan daarmee een goede basis bieden

om de onderwijspraktijk te karakteriseren. Waar figuur 2.1 alleen relatie 1 en 4 van de onderwijspraktijk beschrijft, geven de docent en het leerboek ook invulling aan onderwijsdoelen. Nu bestaat er een verschil tussen beoogde doelen van een curriculum en de uitvoering in de praktijk. Waar de twee grijs gekleurde onderdelen in figuur 2.2 meer het *beoogde* curriculum omvatten, staan de blauw gekleurde onderdelen voor het *uitgevoerde* curriculum [14].

In de onderwijspraktijk komen leerlingen doorgaans, bewust of onbewust in aanraking met onderwijsdoelen door verschillende onderdelen. Hierbij gaat het er dus om hoe de verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk uiting geven aan de onderwijsdoelen en welke perceptie de leerling hierbij krijgt.

Docent (Methode)

De docent wordt als drager en vormer van de methode ook als belangrijkste factor gezien van effectief onderwijs [24]. De docent geeft invulling aan de beoogde onderwijsdoelen. Hierbij kan men zich afvragen in hoeverre natuurkundedocenten eigenlijk bekend zijn met de onderwijsdoelen van natuurkunde in het algemeen en specifiek van Quantumwereld. De leerling ervaart (bewust of onbewust) de invulling van onderwijsdoelen in de opzet van lessen, de opdrachten en ondersteuning. Al deze aspecten vallen onder de methode die door de docent wordt vormgegeven. Naast de eigen expertise die van een docent vereist wordt, maakt de docent ook gebruik van een min of meer gevarieerde verzameling aan *materiaal*. Daarnaast spiegelt de docent doorgaans de methode van het onderwijs ook aan de toetsing en examinering van het onderwijs. In de praktijk blijkt de invloed van leerboeken en examens dominant.

Leerboeken (Materiaal)

Vervolgens komt de leerling in aanraking het *materiaal*. Voor een meerderheid van de leerlingen zal dit met name het leerboek zijn. Er ook een ruime verzameling aan video's, extra instructies, opdrachten, applets en modellen die ook onderdeel uitmaakt van het *materiaal*. Het *materiaal* wordt dan ook gezien als een van de pijlers van effectief onderwijs [25]. We weten dat het merendeel van de docenten hun onderwijs vormt aan de hand van traditionele methoden zoals het leerboek [26]. Daarom zal ook dit onderzoek naar leerboeken kijken als het gaat om de analyse over onderwijsdoelen. De ontwikkeling van het leerboek wordt mede gevormd door de syllabus en het centraal examen.

Examen (Toetsing)

Er zit variëteit rondom het gebruik en doel van toetsen en in dit geval ook voor het examen [27]. Hoewel de opzet van het examen grotendeels op de syllabus gebaseerd wordt, heeft het examen zelf ook invloed op de docent, het leerboek en de leerling. Zo werkt het examen niet alleen om het niveau van een leerling te toetsen, maar gebruiken leerlingen en docenten (oude) examens ook om de stof aan te leren. Idealiter is een van de eerste stappen in het vormgeven van een toetsingsprocedure de invulling van de onderwijsdoelen [28]. Daarbij vraag je je dus af in hoeverre de leerdoelen door de leerling zijn behaald en of dit vervolgens ook invulling heeft gegeven aan de gestelde onderwijsdoelen. Het examen zou dus ook zicht moeten geven in hoeverre het beoogde curriculum is behaald [14].

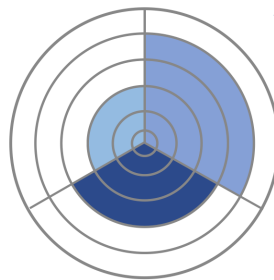
De hierboven beschreven onderdelen worden in dit onderzoek geanalyseerd op de invulling van onderwijsdoelen in de context van het quantumonderwijs.

2.3 Hoe kunnen we onderwijsdoelen verdelen en herkennen?

Nu we weten wat onderwijsdoelen zijn en waar deze in de onderwijspraktijk terugkomen, is het goed om te bekijken hoe onderwijsdoelen te verdelen en herkennen zijn. Binnen de literatuur kunnen onderwijsdoelen verschillend gekarakteriseerd worden. Het gaat hier dan over onderwijsdoelen die niet specifiek gelden voor het quantumonderwijs maar over natuurwetenschappelijk onderwijs in het algemeen op de middelbare school. Onderwijsdoelen worden het vaakst verdeeld in zogeheten *onderwijsaccenten*. Er bestaan hiervoor verschillende verdelingen. In Appendix H zijn verschillende accentverdelingen te vinden. Daar worden ook enkele overwegingen bij het gebruik van iedere accentverdeling besproken. Dit onderzoek maakt gebruik van de volgende driedelige accentverdeling:

3. Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.



1. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

2. Persoonlijke ontwikkeling

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Figuur 2.3: Driedelige accentverdeling gebruikt in dit onderzoek.

Een dergelijke verdeling werd in 1928 al genoemd door de commissie Fokker, samengesteld door de Nederlandse Natuurkunde Vereniging (NNV). De commissie zei over het doel van Natuurkunde het volgende: ‘...zoodat de leerling ervaart hoe natuurkennis wordt verkregen en is verkregen. Het moet leiden tot kennis van de belangrijkste theorieën, bekendheid met de voornaamste toepassingen der natuurkunde in het dagelijksch leven en in de techniek, en inzicht in de historische ontwikkeling van enkele problemen.’ [29].

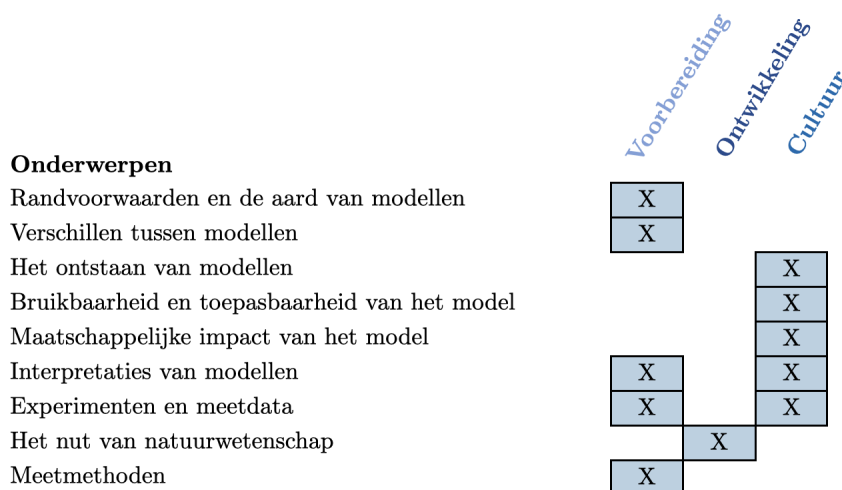
De gebruikte driedeling is gebaseerd op de verdeling die ook vaker in de context van het nederlandse natuurkunde onderwijs wordt gebruikt en sluit daarmee goed aan op de ontwikkelingen van het nieuwe natuurkunde onderwijs [30] [31] [32]. Daarnaast is deze verdeling intuïtief te begrijpen en goed te onthouden voor gebruikers. De drie accenten zijn zó verwoord dat de definities van de accenten zo min mogelijk overlappen en dat ze op die manier ook contrast kunnen laten zien. Dit laatste punt was ook één van de eisen tijdens de ontwerpcyclus die in hoofdstuk vier en Appendix A.2 is toegelicht. Het eerste accent focust zich specifiek op kennis bedoeld ter voorbereiding op het natuurwetenschappelijk vervolgonderwijs die niet direct terugkomt in de andere twee accenten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de verwevenheid van natuurkunde met wiskunde of het kunnen modelleren. Het tweede accent omvat kennis die gericht is op de cultuur en structuur van wetenschap. Het accent richt zich daarmee op geschiedkundige aspecten van wetenschap, maar ook op de maatschappelijke opbrengst van wetenschap en de manier waarop wetenschap ‘werkt’. In de internationale literatuur wordt dit ook wel Nature of Science (NOS) genoemd. Het derde accent *Persoonlijke Ontwikkeling* wordt wat pragmatisch gebruikt, ook in de literatuur. Het is kennis die een leerling helpt in het dagelijks leven, maar niet

specifiek bijdraagt aan het eerste of tweede accent. Daarmee richt het derde accent zich meer op basiskennis en vaardigheden ter ondersteuning van de burger in het dagelijks leven en omvat dit accent in de gebruikte literatuur ook een motiverende en oriënterende component van het natuurkundeonderwijs.

Door middel van een accentverdeling kan bekeken worden welke onderwijsdoelen meer of minder nadruk krijgen in verschillende onderdelen van de onderwijspraktijk. Zo zou een gemiddelde les Quantumwereld meer nadruk kunnen leggen op *Cultuur en Structuur van Wetenschap* dan *Voorbereiding WO*. Deze accentverdelingen maken het makkelijker om verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk met elkaar te vergelijken. De vorm van een examen kan namelijk verschillen met de vorm van een les, terwijl beide onderdelen aan hetzelfde onderwijsdoel kunnen werken. Deze accentverdelingen geven de praktijk simpel weer en zijn ook intuïtief te begrijpen voor de gebruiker.

Figuur 2.3 laat ook een ingevulde windroos-diagram zien. Met behulp van dit diagram is gemakkelijk te zien welke onderwijsdoelen meer nadruk krijgen. Deze figuren worden voor dit onderzoek gebruikt om snel inzichtelijk te maken waar de 'zwaartepunten' liggen. Dit helpt de gebruiker om meer inzicht te krijgen. In dit geval is in figuur 2.3 als voorbeeld illustratief weergegeven hoe een bepaalde examenopgave veel nadruk legt op onderwijsdoelen voor *Voorbereiding WO* maar dat er minder nadruk is te zien rondom *Cultuur en Structuur van Wetenschap*.

Het herkennen van onderwijsaccenten kan lastiger zijn en heeft ook met de interpretatie van de gebruiker te maken. Zo kan het doen van een experiment zowel bijdragen aan *Persoonlijke Vaardigheden* door middel van ontwerpen en analyseren, maar leert het ook wat over de experimentele kant van natuurkunde en geeft het dus invulling aan het accent *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Op basis van de literatuur is er daarom een lijst gemaakt met veertig onderwerpen die ook vanuit de literatuur gekoppeld zijn aan de drie accenten. Hoe dit gedaan is wordt toegelicht in hoofdstuk 4 en Appendix A.2.



Figuur 2.4: Koppeling tussen de onderwerpen en de drie accenten van onderwijsdoelen op basis van literatuur.

Zo is te zien aan welke onderwijsaccenten meer of minder aandacht wordt besteed door te kijken welk van de veertig onderwerpen in meer of mindere mate voorkomen. Op basis van dit principe is hiervoor een evolutiemodel ontwikkeld. Dit evaluatiemodel wordt toegelicht in hoofdstuk 4 en helpt om de onderwijspraktijk consequent te analyseren. Hoe dit onderzoek verder in zijn werk gaat is te lezen in het volgende hoofdstuk.

HOOFDSTUK 3

Methode van dit onderzoek

Dit hoofdstuk behandelt de methode waarmee dit onderzoek is uitgevoerd. Deze informatie is niet vereist om de resultaten in hoofdstuk vijf te begrijpen, maar biedt een compleet beeld van de opzet van dit onderzoek samen met de middelen en de impact die dit onderzoek moet hebben.

3.1 Wat is de opzet van dit onderzoek?

Dit onderzoek is in essentie een ontwerponderzoek [33]. Enerzijds proberen we een analyse te doen op de beoogde onderwijsdoelen en de invulling daarvan in de praktijk te bekijken. Anderzijds proberen we hiervoor een evaluatiemodel te ontwikkelen dat test of kijken naar onderwijsdoelen in de praktijk het onderwijs ook écht kan verbeteren. In grote lijnen wordt dit ontwerponderzoek via de volgende methode uitgevoerd:

1. **Fase I: Oriëntatie**

In de oriëntatie is er ruimte besteed aan contextanalyse, literatuurstudie zoals deze in het vorige hoofdstuk besproken is. Daarnaast heeft de oriëntatie ook overlap met de eerste stap in het ontwerpproces, de analyse. Hiervoor is er gekeken naar de behoeften van een dergelijk evaluatiemodel en goede voorbeelden.

2. **Fase II: Ontwerpcyclus**

Vervolgens is er een evaluatiemodel ontwikkeld door middel van de volgende stappen uit een ontwerpcyclus [13]:

- Analyse
- Programma van Eisen
- Ontwerpvoorstel en Deeluitwerkingen
- Ontwerprealisatie
- Evaluatie

Het evaluatiemodel is ontwikkeld op basis van de gekozen accentverdeling uit hoofdstuk 2. Tijdens de evaluatie is er gekeken naar waar de interpretatieverschillen in het evaluatiemodel zitten. Hiervoor is er voor het onderdeel *Evaluatie* een testronde gedaan met negen respondenten de resultaten hiervan zijn te vinden in Appendix A.5.

De gehele ontwerpcyclus is uitgewerkt in Appendix A en samengevat in hoofdstuk 4.

3. Fase III: Implementatie

Vervolgens is het evaluatiemodel gebruikt op de vier onderstaande onderdelen in de onderwijspraktijk zoals dat is toegelicht in hoofdstuk 2.

- Om de beoogde onderwijsdoelen in kaart te brengen wordt het evaluatiemodel ingevuld aan de hand van het NiNa-adviesrapport. Onder dit advies valt het examenprogramma. Ook wordt hierbij kort de syllabus besproken.
- Acht centrale eindexamens van 2016 tot 2019 zijn geanalyseerd met het evaluatiemodel op het onderdeel Quantumwereld.
- De leertekst en bijbehorende opgaven van drie leerboeken worden geanalyseerd. Daarnaast worden er van één leerboek ook twee andere hoofdstukken geanalyseerd ter evaluatie.
- Om de implementatie van onderwijsdoelen bij verschillende docenten te evalueren worden drie docenten gevraagd om aan de hand van hun lessenseries het evaluatiemodel in te vullen. Daarnaast krijgen de drie docenten vooraf en achteraf een vragenlijst om de effectiviteit van het evaluatiemodel te analyseren.



4. Fase VI: Resultaten

De resultaten worden gebruikt om de onderzoeksvragen te beantwoorden. Aan de hand van een analyse op het NiNa-adviesrapport kunnen we conclusies trekken over de helderheid en eenduidigheid van de beoogde doelen voor het quantumonderwijs. Vervolgens worden de analyses van de examens, leerboeken en docenten gebruikt om de implementatie en eenduidigheid van onderwijsdoelen in de onderwijspraktijk in kaart te brengen. De vragenlijst en de medewerking van de negen respondenten en drie docenten helpt de effectiviteit van het evaluatiemodel als 'proof of concept' te verifiëren.

3.2 Welke middelen zijn er gebruikt?

- De onderwijsdoelen worden in kaart gebracht met een ontworpen **evaluatiemodel**. Dit model laat zien aan welke onderwijsdoelen de meeste invulling wordt gegeven in een document of lessenserie. De manier van input en de output van het model is voor alle onderzochte onderdelen gelijk. Zo kunnen verschillende onderdelen zoals het NiNa-advies en een examen of lessenserie gemakkelijk en degelijk met elkaar vergeleken worden.
- Dit onderzoek maakt in essentie gebruik van twee **vragenlijsten**, afhankelijk van het onderdeel van het ontwerponderzoek. Om het model te verifiëren en de betrouwbaarheid te onderzoeken is er een vragenlijst gemaakt voor negen respondenten om interpretatie rondom de input en output van het model te analyseren. Om de toegevoegde waarde van het evaluatiemodel verder te analyseren is er een vragenlijst gemaakt die helpt bevindingen te structureren van betrokken drie docenten.
- Het onderzoek heeft op meerdere momenten gebruik gemaakt van de input en ondersteuning en inzichten van verschillende **respondenten**. Deze groep respondenten bestaan uit didactici, docenten en studenten.

HOOFDSTUK 4

Evaluatiemodel

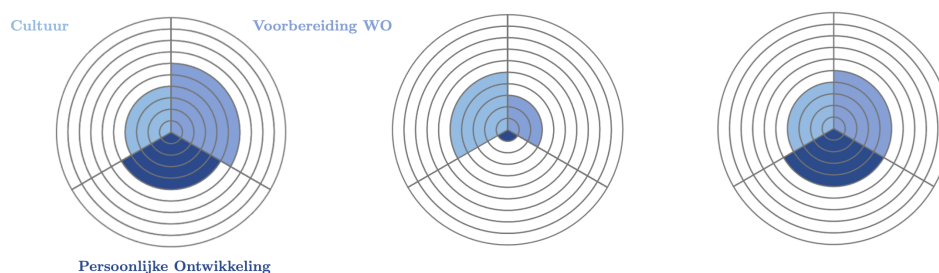
In dit hoofdstuk wordt kort het evaluatiemodel toegelicht dat ontwikkeld gebruikt is in dit onderzoek. De belangrijkste zaken vanuit de ontwerpcyclus worden toegelicht en daarna de werking van het model. Een uitgebreide toelichting over de ontwerpcyclus en ontwerpkeuzes zijn te vinden in Appendix A.

4.1 Ontwerpcyclus

Analyse

De start van de ontwerpcyclus van het evaluatiemodel begon met een analyse over de benodigde functionaliteiten van het evaluatiemodel en enkele voorbeelden ter inspiratie. Het evaluatiemodel moet voor een bepaald onderdeel in de onderwijspraktijk inzichtelijk kunnen maken in welke mate er invulling wordt gegeven aan elk onderwijsaccent. Het ontwikkelde evaluatiemodel helpt de onderwijspraktijk evalueren op *inhoudelijk-vlak* [34]. Dit kan als volgt omschreven worden: *wat zijn op grond van welke overwegingen de belangrijkste doelen en inhouden, in hoeverre slaagt men er in deze inhouden in samenhang te ordenen en zijn doelen, inhouden, didactiek en toetsvormen adequaat op elkaar afgestemd.*

Als basis voor het evaluatiemodel is gekeken naar de praktische werking van het de Vragenlijst Interpersoonlijk Leraarsgedrag (VIL) [35]. Dit model heeft als input een vragenlijst over de onderwijspraktijk, gespecificeerd op het gedrag van de leraar. Op dezelfde manier wil het ontwikkelde evaluatiemodel middels een korte vragenlijst de gebruiker inzicht geven in de invulling van onderwijsdoelen in een bepaalde context. De output is een windroos-diagram zoals deze ook in paragraaf 2.3 beschreven is. Het diagram illustreert in welke mate elke onderwijsaccent invulling krijgt.



Programma van Eisen

Het evaluatiemodel is gebaseerd op een programma van eisen dat opgebouwd is op basis van twee gedachten. Als eerste moet het evaluatiemodel *gemakkelijk in gebruik* zijn. Het is vanzelfsprekend dat gebruikers geen zin hebben in lange vragenlijsten of pagina's vol complexe resultaten. Vooral docenten zijn gebaat bij simpele tools die gemakkelijk inzicht bieden in hun lespraktijk, als ze hier al tijd voor hebben. Vervolgens zal het evaluatiemodel inhoudelijk ook een *sterke analyse* moeten kunnen aanleveren. Wanneer dit niet het geval is, zal impact op de onderwijspraktijk gering zijn. Deze twee gedachten zijn uitgewerkt in tien eisen die in detail worden toegelicht in Appendix A.2.

Ontwerprealisatie

Vanuit de verschillende deeluitwerkingen en een evaluatieronde zoals die beschreven zijn in Appendix A is een ontwerp voor het evaluatiemodel gekomen. Het evaluatiemodel maakt gebruik van de volgende driedelige accent-verdeling in onderwijsdoelen:

1. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

Kennis specifiek ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

2. De Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

3. Persoonlijke ontwikkeling

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen in het dagelijks leven die de burger ondersteunen.

Dit model is gebaseerd op basis van de *Driedelige doelstelling van Natuurkunde* zoals beschreven in paragraaf 2.2. Nu zou het ook mogelijk zijn om een nieuwe verdeling te maken, maar dit verhoogt de kans op een vruchtbaar model niet. De hoeveelheid nieuwe verdelingen en termen zullen het moeilijk maken om dat nieuwe model in de huidige onderwijspraktijk te laten landen. Op lange termijn zou dat zeker mogelijk moeten zijn, maar binnen de reikwijdte van dit onderzoek is dat niet gewenst. Er is dus voor gekozen om de accenten, met name de eerste, iets specifieker te definiëren, maar verder geen aanpassingen te doen aan deze bestaande verdeling. Extra overwegingen over deze verdeling komen in Appendix A.3 aan bod.

Het evaluatiemodel is ontwikkeld als Microsoft Excel bestand. Dit is op vrijwel elke computer van een doorsnee docent te openen. Hieronder worden bondig de stappen doorlopen die een gebruiker van het model ook zal doorlopen. Wanneer de gebruiker het model.xls opent is [Werkblad 1] zichtbaar (figuur 4.1). Hier wordt kort de opzet van dit evaluatiemodel uitgelegd met de daarbij horende accentverdeling van onderwijsdoelen, zodat deze bekend zijn. Hoewel de verdeling bij veel docenten bekend is zal dit niet bij iedere docent het geval zijn.

[Werkblad 2] is de *input* van het model. Hier zijn de veertig verschillende onderwerpen zichtbaar. Deze onderwerpen geven invulling aan het behalen van de onderwijsdoelen. Het gebruik van deze onderwerpen is ook behandeld in paragraaf 2.3. Ze helpen herkennen welke onderwijsaccenten het meeste invulling krijgen. De onderwerpen zijn uit een zestal verschillende bronnen gehaald en in een aantal gevallen anders geformuleerd. De

Doelstellingen Quantumonderwijs

Evaluatiemodel

v.1.2

Dit evaluatiemodel brengt in kaart welke onderwijsdoelen er het meeste ruimte krijgen binnen een onderdeel in de onderwijspraktijk. Denk hierbij aan toetsen, lessenseries, methodes, werkvormen en opdrachten. Onderwijsdoelen leggen eigenlijk uit *waarom* we een bepaald onderwerp onderwijzen. Deze onderwijsdoelen zijn voor natuurkunde samengevat in drie accenten:

Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

De Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

Persoonlijke ontwikkeling

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Voor dit model vul je een vragenlijst in waar je bij verschillende onderwerpen aangeeft of deze in *meer* of *mindere* mate voorkomen in jouw lessenserie rondom het domein Quantumwereld. Vervolgens wordt dit resultaat vergeleken met andere onderdelen in de onderwijspraktijk zoals het centraal examen, de syllabus en het Nieuwe Natuurkunde adviesrapport (NiNa). Met deze vergelijking en wat aandachtspunten kan dit model je helpen om jouw quantumonderwijs te evalueren.

Evaluatieformulier | Doelstellingen Quantumonderwijs

Onderdeel: *[voorbeeld - lessenserie]*

v.1.2

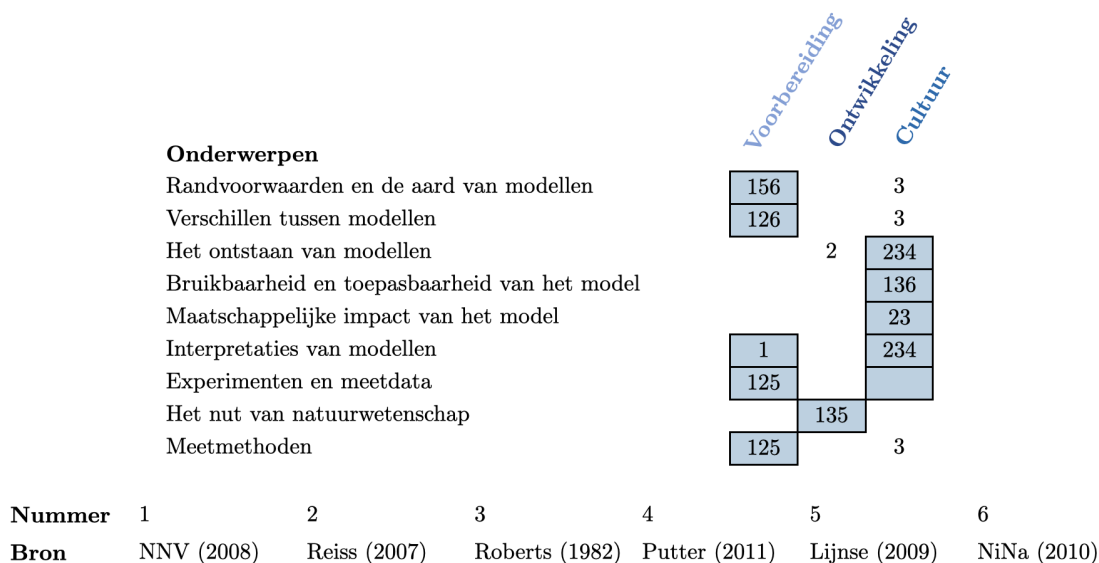
Geef aan (met '1') in hoeverre de volgende onderdelen aanbod komen:

	Minder	Meer
Randvoorwaarden en de aard van modellen		1
Verschillen tussen modellen		1
Het ontstaan van modellen		1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model		1
Maatschappelijke impact van het model	1	
Interpretaties van modellen		1
Experimenten en meetdata		1
Het nut van natuurwetenschap	1	
Meetmethoden		1
Verbazing en verwondering		
Kennis over het vak Natuurkunde		1
Orientatie op natuurwetenschappen		1
Natuurwetenschappelijke werkwijze		1
Algemene toepassingen	1	
Wetenschappelijke toepassingen	1	
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	
Ontstaan van de behandelde kennis		1
Motiverend karakter		1
Concepten uit het dagelijks leven	1	
Samenhang met andere bítavakken		1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie		1
Basisformalisme over het onderwerp		1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde		1
Verwevenheid met Wiskunde	1	
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	1	
Maatschappelijke opbrengst	1	
Historische aspect van natuurkunde		1
Culturele aspecten van natuurkunde		1
Aandacht voor beroepspraktijk		1
Gezondheid en veiligheid		1

Figuur 4.1: Links: Werkblad 1 - Introductie. Rechts: Werkblad 2 - Vragenlijst

gebruiker vult als eerste de naam van het onderdeel in dat geanalyseerd wordt. Daarna geeft de gebruiker per onderwerp aan of dat onderwerp in *meer* of *mindere* mate ruimte krijgt binnen het onderdeel dat geëvalueerd wordt. Een docent kan bijvoorbeeld aan de hand van zijn lessenserie Quantumwereld deze vragenlijst invullen. Hij geeft dan aan welke onderwerpen in meer of mindere mate in zijn lessen ruimte krijgen.

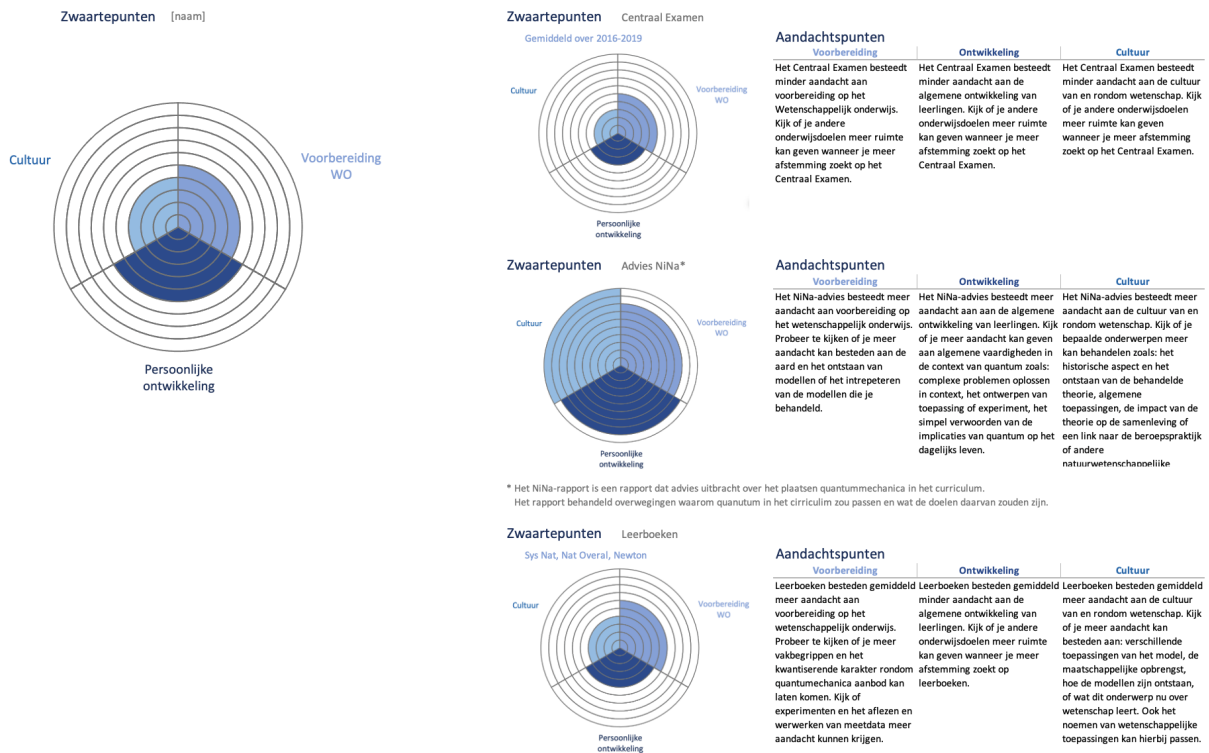
Op [Werkblad 3] en [Werkblad 4] worden de veertig onderwerpen gekoppeld aan de drie onderwijsaccenten die in deze paragraaf beschreven zijn. Deze verdeling is gemaakt op basis van de zes eerder gebruikte bronnen en onder welk accent deze bronnen een bepaald onderwerp plaatsen. Deze stappen zijn uitgebreid uitgewerkt in de Appendix A.3.2. Een voorbeeld hiervan in figuur 4.2 weergegeven.



Figuur 4.2: Koppeling tussen de onderwerpen en de drie accenten van onderwijsdoelen op basis van literatuur.

Door deze koppeling kan het model bepalen aan welke onderwijsaccenten er het meest gewerkt wordt afhankelijk van de onderwerpen die meer of minder ruimte krijgen. Het is mogelijk om het derde en vierde werkblad af te schermen voor de gebruiker om de gebruikerservaring van het model simpel te houden. Voor gebruikers die hier langere tijd mee bezig willen gaan, kan dit echter inzicht bieden.

[Werkblad 5] is de *output* van het model en biedt de resultaten. Als eerste ziet de gebruiker waar de zogenaamde zwaartepunten liggen in de accentverdeling binnen het gekozen onderdeel. De gebruiker kan deze verdeling vervolgens vergelijken met het gemiddelde van de afgelopen examens, het NiNa-advies en het gemiddelde van een aantal leerboeken.



Figuur 4.3: Werkblad 5 - Resultaten.

Met behulp van de toelichting aan de rechterkant krijgt de gebruiker extra hulp om het resultaat te interpreteren. Zo worden er ook concrete onderdelen genoemd waar de gebruiker naar kan kijken ter verbetering. Op deze manier kan een docent zijn curriculum, lessenserie en werkvormen beter afstemmen op de wensen die de docent hiermee heeft. De opmerkingen zijn vooraf gegenereerd. Gedetailleerde afbeeldingen van het model zijn te vinden in Appendix A.

4.2 Gebruik & Interpretatie Evaluatiemodel

Voordat in het volgende hoofdstuk het evaluatiemodel wordt toegepast, is het belangrijk om scherp te houden wat het evaluatiemodel wel en niet doet. Hierbij worden ook observaties uit de testronde van het evaluatiemodel meegenomen zoals dat beschreven staat in Appendix A.5.4. Zoals in paragraaf 4.1 ook is toegelicht probeert het evaluatiemodel inzicht te bieden. Het focust zich op de implementatie van onderwijsdoelen, samengevat in drie accenten. Het laat daarmee zien aan welke onderwijsdoelen het meest wordt gewerkt binnen een bepaald gedeelte binnen de onderwijspraktijk. Het model laat dus in essentie drie dingen zien:

1. In welke mate wordt er invulling wordt gegeven aan een onderwijsaccent?
2. Hoe verhoudt dat accent zich tot andere onderwijsaccenten binnen het geëvalueerde onderdeel?
3. Hoe verhoudt dat accent zich tot hetzelfde onderwijsaccent bij andere onderdelen in de onderwijspraktijk?

Uit de testronde is gebleken dat het model valide genoeg is om contrasten in invulling van onderwijsdoelen te laten zien. De betrouwbaarheid van het model blijft afhankelijk van hoe de gebruiker de situatie en de resultaten interpreteert. Hoewel uit de testronde nauwelijks expliciet is aangegeven dat respondenten bepaalde onderwerpen onduidelijk beschreven vinden, is er toch een spreiding in verschillende interpretaties in de resultaten. Dit zit met name in de volgende onderdelen:

- Afhankelijk van de gebruiker kunnen er interpretatieverschillen zijn over het 'meer' of 'minder' voorkomen van bepaalde onderwerpen. Dit is ook duidelijk in figuur A.10 terug te vinden. Deze gevoeligheid zal in vrijwel elk evaluatiemodel verborgen zitten. Op dezelfde manier zullen observaties van één dezelfde les vanuit verschillende docenten op bepaalde punten verschillen.
- Er bestaat een verschil in interpretatie over de effectiviteit door 'impliciete stofoverdracht'. Denk bijvoorbeeld aan een vraag over het uitrekenen van energieniveaus van het waterstofatoom. De ene gebruiker zal aangeven dat een leerling bij een dergelijke vraag ook impliciet iets leert over het gebruik van verschillende modellen, terwijl een andere gebruiker dat niet vindt omdat de leerling niet actief gevraagd wordt om hierop te reflecteren.

Om met deze verschillen in interpretaties rekening te houden, wordt tijdens dit onderzoek per onderdeel dat geëvalueerd wordt aangegeven op welke manier het evaluatiemodel ingevuld is. Dit zal op een gestructureerde manier gedaan worden. Daarnaast zal er over grote lijnen van de verschillende onderdelen geëvalueerd worden en zullen kleine verschillen ook niet van belang zijn voor de onderzoeksvragen. Wanneer een docent voor zijn eigen lespraktijk dit doet ligt de impact van het verschil in interpretatie lager. Een docent vult met zijn eigen interpretatie het evaluatiemodel in en gebruikt dezelfde interpretatie om zijn eigen resultaten te analyseren. Tegelijkertijd zijn de verschillende resultaten niet sterk afwijkend. Alle respondenten concludeerden van tevoren gezamenlijk dat het zwaartepunt niet op *Persoonlijke Ontwikkeling* zou liggen maar op *Cultuur* of *Vorbereitung WO*. Dit is ook uit de resultaten van het evaluatiemodel naar voren gekomen.

HOOFDSTUK 5

Implementatie en Resultaten

In dit hoofdstuk wordt met behulp van het evaluatiemodel in kaart gebracht in hoeverre onderwijsdoelen invulling krijgen bij verschillende onderdelen uit de onderwijspraktijk. Elk onderdeel wordt toegelicht, de implementatie van het evaluatiemodel wordt beschreven en de belangrijkste resultaten worden besproken.

5.1 Adviesrapport examenprogramma NiNa

Toelichting

De Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs heeft eind 2010 nieuwe examenprogramma's voor havo en vwo gepresenteerd in een advies aan de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap. Dit advies staat beschreven in het rapport *Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo* [2]. In dit advies worden de kansen en ontwikkelpunten besproken van het profielvak natuurkunde met daarbij een aantal bevindingen en voorstellen. Hieruit wordt de totstandkoming en de uitgangspunten toegelicht die een rol hebben gespeeld bij de vorming van het hernieuwde examenprogramma. In dit hernieuwde examenprogramma wordt onder andere geadviseerd om het domein *Quantumwereld* in het vwo-examenprogramma te introduceren en het daarmee ook op het centraal schriftelijk examen (CE) te laten terugkomen. Dit advies ligt in lijn met de bevindingen die gedaan zijn bij het Project Moderne Natuurkunde dat tussen 1997 en 2009 is uitgevoerd op meer dan zestig vwo-scholen.

Hoewel er vanuit het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap geen documentatie beschikbaar is wat de onderwijsdoelen van Quantumwereld (of natuurkunde in het algemeen) zijn, biedt dit adviesrapport een blik op de argumentatie waarmee Quantumwereld in het examenprogramma is opgenomen. Indirect wordt in dit document door middel van verschillende opmerkingen uiting gegeven aan de achterliggende onderwijsdoelen van het vernieuwde natuurkunde examenprogramma. Op één punt in het document wordt dit iets explicieter genoemd:

Met het oog op de contextconceptbenadering is scherper aangegeven dat het doel van het natuurkundeonderwijs vooral is: het verwerven van een natuurwetenschappelijke denkwijze en van inzicht in natuurkundige concepten, het ervaren van natuurkunde als experimentele wetenschap. De rol van contexten is vooral het duidelijk maken van de brede toepasbaarheid van concepten, en te laten zien in welke gebieden van onderzoek en technologie de actuele natuurkunde actief is. (p.54 [2])

Vanuit het domein Quantumwereld zijn de bevindingen en adviezen uit dit rapport op te delen in twee groepen. Als eerste de algemene opmerkingen over het vak natuurkunde en vervolgens opmerkingen specifiek over het domein Quantumwereld. De opmerkingen zijn verklarend van aard. Daarmee wordt bedoeld dat deze vragen indirect antwoord geven op de vraag waarom natuurkunde een relevant vak is en waarom het vak natuurkunde aangeboden wordt. Indirect geven deze opmerkingen dus invulling aan de onderwijsdoelen voor het vak natuurkunde. Hieronder staan een aantal voorbeelden van deze opmerkingen:

Maatschappelijke ontwikkelingen sturen de vraag naar breed georiënteerd natuurkundeonderwijs. (p.8, p.35)

Meer aandacht voor beroepen en nut van toepassingen van de natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs gewenst. (p.10)

Methoden die gebruikt worden bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek (doing science). (p.10, p.85)

Hoewel deze opmerkingen algemeen van aard zijn en niet specifiek zijn toegeschreven aan het domein Quantumwereld, neemt dit onderzoek aan dat de onderwijsdoelen die hiermee geïmpliceerd worden ook gelden voor het domein Quantumwereld. In de literatuur en de examenprogramma's zien we namelijk niet terug dat er gedifferentieerd wordt in onderwijsdoelen afhankelijk van het domein [36]. We zien daarom ook dat veel onderwijsdoelen in het examenprogramma terugkomen in subdomein A, H en I die meer algemene vaardigheden behandelen. De andere domeinen, die de fysische onderwerpen omvatten, beschrijven met name vaardigheden rondom het 'beschrijven, analyseren en verklaren' aan de hand van bijbehorende vakbegrippen. Daarnaast is de invoering van het subdomein Quantumwereld een van de significante en meer merkbare aanpassingen in het vwo-examenprogramma die daarmee ook invulling moeten geven aan de hierboven genoemde bevindingen en opmerkingen.

De tweede groep opmerkingen is specifiek gericht op het domein Quantumwereld. Hieronder is daar een aantal van weergegeven:

Voor beide onderwerpen (Relativiteit en Quantumwereld) wordt gevraagd om voorbeelden van toepassingen in de leefwereld. (p.62)

In de contextgebieden bij domeinen (waaronder Quantumwereld) kunnen leerlingen een beeld krijgen van de ontwikkeling en toepassing van natuurkundige kennis op vele gebieden. Ook het maatschappelijke werkveld van natuurkundigen wordt zichtbaar gemaakt. (p.89)

Daarmee heeft de quantumfysica tevens een hechte relatie met de biomedische wetenschap en praktijk. (p.105)

De complete lijst met citaten die gebruikt zijn is te vinden in Appendix C.

Implementatie

De hierboven genoemde citaten zijn gebruikt om het evaluatiemodel uit hoofdstuk 4 mee in te vullen. Per opmerking is bekeken welk van de veertig onderwerpen, zoals deze beschreven staan in het model, bij deze opmerking passen. Hieronder staan twee voorbeelden hoe dit is gedaan:

Maatschappelijke ontwikkelingen sturen de vraag naar breed georiënteerd natuurkundeonderwijs. (p.8, p.35)

- Samenhang met andere beta-vakken
- Oriëntatie op natuurwetenschappen
- Algemene toepassingen
- Aandacht voor beroepspraktijk

Voor beide onderwerpen (Relativiteit en Quantumwereld) wordt gevraagd om voorbeelden van toepassingen in de leefwereld. (p.62)

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid van het model
- Maatschappelijke impact van het model
- Algemene toepassingen
- Concepten uit het dagelijks leven
- Aandacht voor beroepspraktijk

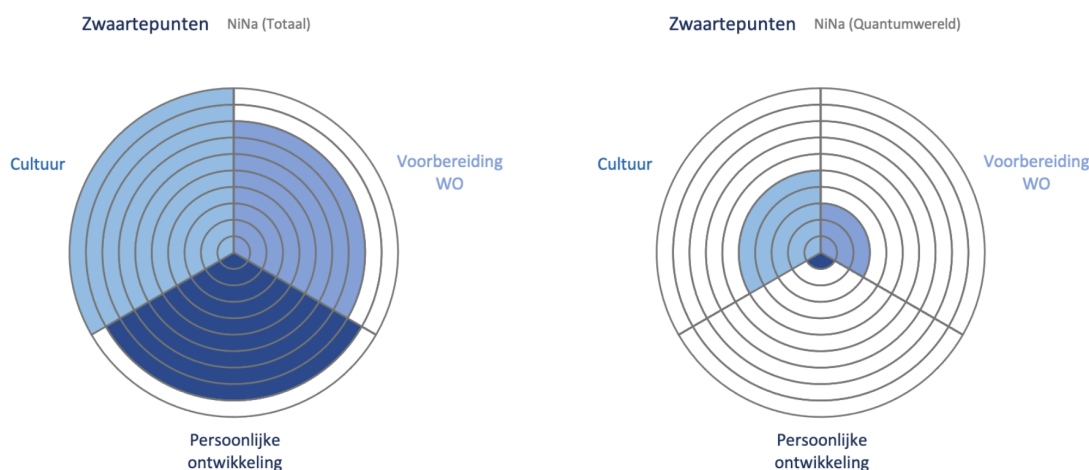
Vervolgens is het model via twee methodes ingevuld. Bij de eerste methode is bij elk onderwerp dat minstens één keer terug is gekomen de optie 'meer' geselecteerd. De gedachte hierachter is dat het NiNa-advies een ideaalbeeld wil schetsen vol adviezen. Wanneer een onderwerp indirect genoemd wordt in een advies zou dit idealiter ook terug te zien moeten zijn in de onderwijspraktijk. Het resultaat hieruit was een volledig gevulde windroos. Alle veertig onderwerpen zijn in het NiNa-advies wel ergens aan bod gekomen (zie tabel C.1 in Appendix C). Een volledig gevulde roos is geheel behulpzaam. De analyse is er juist op gericht om zwaartepunten te laten zien. Het laat een duidelijke ambitie zien dat in het advies alle onderwerpen indirect naar voren komen. Bij de tweede methode is simpelweg geteld hoe vaak een bepaald onderwerp aan bod is gekomen. Wanneer een onderwerp meer dan één keer genoteerd is krijgt het onderwerp de score 'meer'. Dit wordt vervolgens in het evaluatiemodel verwerkt. Dit is voor het totale rapport gedaan, dus voor alle opmerkingen over het vak natuurkunde, als voor opmerkingen waarbij het rapport specifiek Quantumwereld heeft genoemd (figuur C.1).

Resultaten

Als we naar het linker diagram kijken in figuur 5.1 zien we dat in het NiNa-advies de meeste aandacht gaat naar de *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Elk onderwerp dat bijdraagt aan dit accent is dan ook meer dan één keer in het advies terug te vinden. Met name onderwerpen rondom de toepasbaarheid van de natuurkunde en de maatschappelijke impact komen vaak aan bod zoals: 'Bruikbaarheid en toepasbaarheid van het model' en 'Maatschappelijke impact van het model'. De benadering van natuurkunde vanuit de context, waaruit dit advies ook mede is vormgegeven (p.54 [2]), is dan ook duidelijk in het document terug te vinden. De commissie benoemt in haar advies ook dat toepasbaarheid iets laat zien van de relevantie van natuurkunde in de samenleving, wat vervolgens een reden is om het aan de nieuwe generatie aan te bieden. Ook wordt er in het advies besproken hoe de maatschappelijke impact iets laat zien over het tot stand komen van natuurwetenschappelijke kennis (p.10 [2]). Daarnaast komen onderwerpen als 'Natuurwetenschappelijke werkwijze' en 'Interpretaties van modellen' ook regelmatig terug

in het advies. Dergelijke onderwerpen laten meer zien over hoe natuurwetenschap werkt en neemt daarmee vaak een cultureel en historisch aspect mee. Het helpt de leerling daarmee ook de natuurwetenschap in context van de samenleving te plaatsen (p.86). Een samenleving die vol zit met ontwikkelingen geïnitieerd uit de natuurwetenschap.

Het rapport geeft vervolgens ook veel aandacht aan *Persoonlijke Ontwikkeling* en *Voorbereiding WO*, maar in mindere mate. Persoonlijke ontwikkeling scoort relatief nog wat hoger omdat het rapport regelmatig aandacht besteedt aan algemene toepassingen die ook terug kunnen komen in het dagelijks leven met de keuzes en uitdagingen die daarbij kunnen kijken. Ook wordt er regelmatig aandacht besteedt aan de vaardigheden die door het vak natuurkunde aangeleerd kunnen worden (p.10, p.12, p.13). Deze vaardigheden dragen ook bij aan een persoonlijke ontwikkeling ter ondersteuning in het dagelijks leven. Hoewel er op verschillende plekken aandacht is voor *Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs* zien we dat onderwerpen als 'Kwantificerende karakter van Natuurkunde' en 'Verwevenheid met Wiskunde' en 'Experimenten en meetdata' in verhouding minder genoemd worden. Wel is, ook in figuur 5.1, duidelijk een visie te zien op de veelzijdigheid van het vak natuurkunde dat zowel in alle drie de aspecten uitgebreid invulling kan geven.



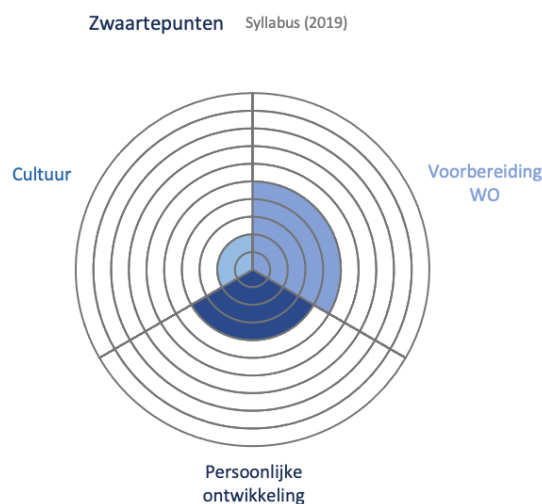
Figuur 5.1: Links: Zwaartepunten in het gehele NiNa rapport. Rechts: Zwaartepunten specifiek benoemd in de context van domein *Quantumwereld*

Wanneer we specifiek kijken naar de opmerkingen die direct in relatie met Quantumwereld genoemd worden zien we ook dat daar het zwaartepunt op *De Cultuur en Structuur van Wetenschap* ligt. In dit geval ligt het zwaartepunt nog sterker op dit accent in verhouding tot *Persoonlijke Ontwikkeling*. De onderwerpen die hier meermaals aan bod komen zijn dezelfde soort onderwerpen die hierboven zijn behandeld. We zien wel dat de verdeling tussen *Voorbereiding WO* en *Persoonlijke Ontwikkeling* bij opmerkingen rondom Quantumwereld is omgedraaid. Dit is onder andere te danken aan de verwoording van de eindtermen in het examenprogramma die ook in het document wordt genoemd. Deze verwoording richt zich al meer op bepaalde academische concepten zoals 'de golf-deeltje-dualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg' (p.105 [2]). Samenvattend zien we in het NiNa-advies een oproep om invulling te geven aan alle onderwijsaccenten met een zwaartepunt op *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Het advies ziet voor Quantumwereld een uitgesproken kans om met (algemene) toepassingen en nieuwe concepten de maatschappelijke impact van wetenschap te laten zien en een oriëntatie te bieden op natuurwetenschap.

Het NiNa-advies introduceerde in het rapport met name het vernieuwde examenprogramma. De eindterm die in dat het examenprogramma is opgenomen over Quantumwereld is als volgt:

De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

De syllabus geeft verder invulling aan de eindtermen. Het gedeelte van de syllabus over Quantumwereld met de bijbehorende score is te vinden in figuur C.2 in Appendix C. De zwaartepunten uit het evaluatiemodel van de syllabus is hieronder weergegeven.



Figuur 5.2: Zwaartepunten in de Syllabus van 2019 specifiek benoemd in de context van domein Quantumwereld

Hoewel de syllabus voor wat betreft accentverdeling in lijn ligt met de eindterm, is de accentverdeling duidelijk anders dan het NiNa-advies. De specificaties in de syllabus rondom Quantumwereld zijn dan ook het meest gericht op *Voorbereiding WO* wat verklaarbaar is wanneer men naar de eindterm van Quantumwereld kijkt. De vraag is dan ook in hoeverre de syllabusschrijvers het NiNa-advies in hun achterhoofd hebben wanneer de syllabus herschreven wordt. De accentverdeling van de syllabus heeft ook gedeeltelijk te maken met de structuur van het examenprogramma en de syllabus. Zoals eerder aangegeven komen algemene onderwerpen die invulling geven aan *Cultuur* en *Persoonlijke Ontwikkeling* meer in de domeinen A, H en I voor. In hoeverre examens ook deze accentverdeling laten zien wordt besproken in de volgende paragraaf.

5.2 Centraal Schriftelijk Examen

Toelichting

Het domein Quantumwereld zit sinds 2016 in het centraal schriftelijk examen (CE) voor het vwo. De onderwijspraktijk laat zien dat onderwijsdoelen ook terug horen te komen in de examinering van het vak natuurkunde (zie figuur 2.2). Ook het CE zal dus op een bepaalde manier moeten toetsen of de beoogde doelen van het vak natuurkunde behaald zijn. Door bij elk examen een analyse te doen welke onderwerpen terugkomen, is inzichtelijk te maken aan welke onderwijsaccenten het centraal examen gemiddeld de meeste aandacht geeft. Doorgaans wordt er per opgave aandacht besteed aan een ander domein, met her en der wat combinaties. Dat betekent dat per examen gemakkelijk de opgaven rondom het domein quantumwereld te herleiden zijn. Dit is vervolgens nog gecontroleerd met hulp van een online Examenindex [37]. De volgende examens en opgaven zijn geanalyseerd:

Examen	Opgaven
2016 - I	3, 4, 18, 19, 20
2016 - II	21, 22, 23
2017 - I	11, 14, 15
2017 - II	15, 16, 22, 24, 25
2018 - I	2, 11, 12, 13, 14
2018 - II	8, 9, 10, 11, 12
2019 - I	17, 18, 20, 21, 23, 24
2019 - II	15, 16, 17, 18, 19, 20

Tabel 5.1: *De geanalyseerde opgaven over het domein quantumwereld uit het centraal schriftelijk examen per tijdvak.*

Implementatie

Bij elke vraag is genoteerd welke onderwerpen uit het evaluatiemodel aan bod komen. In dit geval is dat ook voor indirecte onderwerpen gedaan. Wanneer een leerling bijvoorbeeld een vraag maakt over geurmoleculen (examen 2019-I) wordt ook het onderwerp 'Samenhang met andere bètavakken' genoteerd, terwijl een leerling niet wordt gevraagd om actief te reflecteren op het feit dat deze vraag overlap heeft met biologie en scheikunde. Een voorbeeld hoe bij vragen de onderwerpen genoteerd zijn is te zien in figuur 5.3. Vervolgens is per examen het evaluatiemodel ingevuld. Wanneer een onderwerp één of meerdere malen aan bod is gekomen tijdens het examen dan wordt dat onderwerp als 'meer' aangeduid aangezien het examen maar een beperkte hoeveelheid ruimte heeft. Van elk examen is vervolgens een resultaat gemaakt. Twee daarvan worden hieronder besproken. Vervolgens is nog het gemiddelde bepaald over alle acht examens. De accentverdelingen van alle acht examens zijn te vinden in figuur D.1 in Appendix D.

Een stof met een band-gap is beter geschikt voor zonnebrandcrème dan een stof met een discreet energieniveauschema.
 2p 17 Leg uit waarom.

17 maximumscore 2
 voorbeeld van een antwoord:
 Het is wenselijk dat er een hele range aan golflengtes wordt geabsorbeerd door de zonnebrandcrème. Een stof met een band-gap heeft veel meer mogelijkheden om straling te absorberen (en is daardoor dus beter geschikt als bestanddeel van zonnebrandcrème).

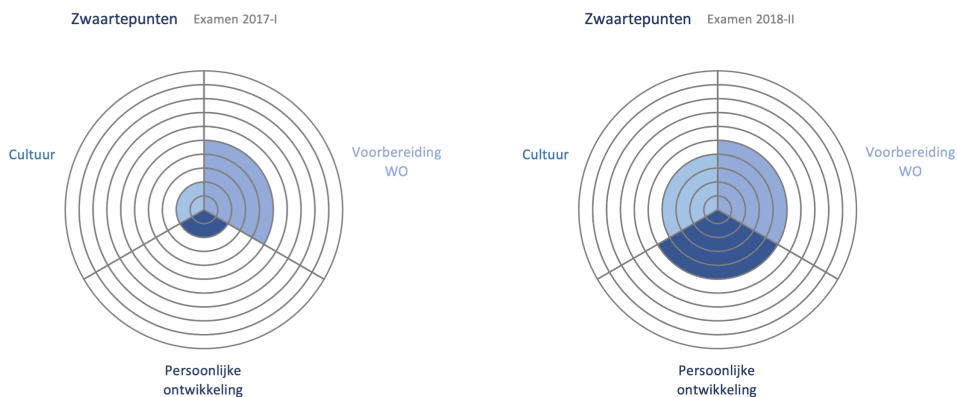
- inzicht dat er zo veel mogelijk straling geabsorbeerd moet worden 1
- inzicht dat een band-gap-materiaal meer absorptiemogelijkheden heeft 1

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Gezondheid en veiligheid
- Kritisch evalueren en analyseren

Figuur 5.3: Een voorbeeld hoe de examenopgaven zijn geanalyseerd. De opgave komt uit het examen 2019-I.

Resultaten

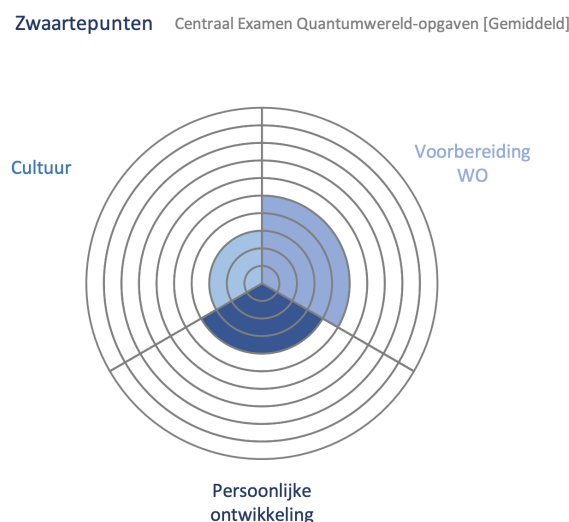
In figuur 5.4 zijn de zwaartepunten van CE 2017-I en 2018-II weergegeven. De bijbehorende scores en opdrachten zijn te vinden in Appendix D. Bij het examen in 2017-I zien we een duidelijk zwaartepunt op *Vorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs*. Dit zal niet verbazen wanneer men een blik op de behandelde opgaven zal werpen. Onderwerpen als 'Specifieke vaktermen voor vervolgstudie', 'Kwantificerende karakter van Natuurkunde', 'Experimenten en Meetdata' en 'Kritisch evalueren en analyseren' komen bij dit examen meer aan bod. De leerling moet een viraal-theorema toepassen op helium en waterstofatomen, met energieniveaus rekenen en golflengtes berekenen van elektronen die vrijgemaakt zijn uit een metaaldraad. Deze onderwerpen laten leerlingen in mindere mate bezig te zijn met de *Cultuur en Structuur van Wetenschap* of vaardigheden rondom de *Persoonlijke Ontwikkeling*. Dat betekent niet dat er op geen enkele manier aan deze accenten wordt bijgedragen. De laatste vraag in 2017-I behandelt bijvoorbeeld een ontwerp rondom de dikte van een coating. Hierbij verschuift de vraag zich richting toepassing en contexten uit het dagelijks leven wat ruimte geeft, hoewel gering, aan *Cultuur en Persoonlijke Ontwikkeling*.



Figuur 5.4: Zwaartepunten van de quantumwereld opgaven. Links: CE 2017-I. Rechts: CE 2018-II.

In het examen 2018-II zien we ook een zwaartepunt op *Vorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs*, maar daarnaast ook sterkere aandacht voor de accenten *Persoonlijke Ontwikkeling* en de *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Dit komt onder andere door de context van de vragen die meer in de leefwereld van de leerling liggen of overlap hebben met andere bètavakken. Ook het nut van natuurwetenschap komt hierin meer naar voren. Tegelijkertijd wordt van de leerling gevraagd om zowel wiskunde te gebruiken bij het uitwerken van antwoorden als eigen verwoordingen van een natuurkundig concept op een praktische toepassing. In beide diagrammen is ook zien dat de omvang en hoeveelheid van de opgaven in 2018-II wat groter is in vergelijking met het examen 2017-I. Dit is gebruikelijk voor de examens. Sommige domeinen worden afhankelijk van het examen in meer of mindere mate getoetst. Deze resultaten laten zien dat het mogelijk is om bij examinering te variëren in de toetsing van onderwijsaccenten.

Voor een bredere trend voor de *quantumwereld*-vragen in de eindexamens is een gemiddelde bepaald uit alle acht examens. Simpelweg door de score op te tellen en te delen door de hoeveelheid examens. Het resultaat hiervan is te zien in figuur 5.5. Het gemiddelde ligt in lijn met de verwachtingen gebaseerd op de eindexamens die hiervoor besproken zijn. Zoals veel docenten wel kunnen verwachten toetst het centraal eindexamen het meest rondom de *Vorbereiding WO*. Sterker nog, de opgaven en onderwerpen zijn doorgaans zó verwerkt dat in de praktijk dit het meest op het natuurkundig vervolgonderwijs gericht is. Dit wordt regelmatig al het primaire doel van het centraal examen gezien. Ook het NiNa-advies ziet dat het centraal examen 'een indicatie moet geven voor de geschiktheid van een leerling voor een bètastudie' en 'een landelijke standaard voor de kwaliteit van het onderwijs moet waarborgen' (p.110, [2]). Ook de Onderwijsraad stelt dat het examen een garantie voor kwaliteit moet blijven en een gegarandeerde toegang moet blijven bieden tot het vervolgonderwijs en de arbeidsmarkt [38]. Wanneer dit wordt gezien als primair onderdeel, dan is het resultaat niet anders dan verwacht.



Figuur 5.5: Zwaartepunten van de quantumwereld opgaven gemiddeld genomen over de eindexamens tussen 2016 en 2019.

De persoonlijke vaardigheden zijn niet specifiek gebonden aan een bepaalde studie en komen ook veel bij opgaven aan bod. Dit gebeurt met name wanneer de onderwerpen 'Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk' en 'Kritisch evalueren en analyseren' aan bod komen in het examen in combinatie met 'Concepten uit het dagelijks

leven' en 'Algemene toepassingen'. Dit aspect ligt meer in lijn met de zwaartepunten van het oorspronkelijke NiNa-advies.

Wanneer we het resultaat van de examens vergelijken met de accentverdeling van de syllabus is te zien dat de zwaartepunten grotendeels overeenkomen. Wat dat betreft sluit het centraal examen goed aan op de specificaties die de syllabus voorschrijft, kijkende naar onderwijsdoelen. We zien bij de examens meer nadruk op de *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Zoals eerder besproken is dit waarschijnlijk de invulling van de eindtermen van de domeinen A, H en I. Toch zijn deze domeinen in verhouding minder aanwezig in vergelijking met domein F1: Quantumwereld. Dat betekent niet dat deze eindtermen niet terugkomen in andere opgaven van het examen.

Over het algemeen wordt er in de examens het minste ruimte gegeven aan het behandelen en toetsen van kennis over *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Naast de hierboven behandelde overweging van het primaire doel van het centraal examen komt hier ook de vraag bij kijken hoe dergelijke kennis getoetst kan worden. Ook daarin merken we dat bepaalde kennis in het onderwijs zowel op het VO als het WO regelmatig nog gespiegeld wordt op de toetsbaarheid. Toch komen de accenten *Cultuur* en *Persoonlijke Ontwikkeling* op sommige plaatsen indirect wel in de examens terug. Ook dat kan een positief effect hebben op het breed representeren van onderwijsaccenten. Zo zien we bij de examens in 2016 en 2018 toch een relatief sterkere aandacht voor *Cultuur* in vergelijking met de examens uit andere jaren. Er zitten in dit geval dus echt goede voorbeelden tussen de examens, wanneer het gaat om meer aandacht te geven aan andere accenten in de examens. Het NiNa advies geeft aan dat idealiter het schoolexamen juist mogelijkheden zou bieden om zaken te toetsen die lastiger op papier te toetsen zijn. Ook recent onderzoek noemt dat de manier van toetsen bepalend kan zijn voor wat er getoetst wordt over quantummechanica [39]. Wanneer we de accentverdeling vergelijken met de accentverdeling uit het NiNa-rapport zien we wel een duidelijk verschil (zie figuur 5.1). De zwaartepunten zijn tegengesteld verdeeld in vergelijking met het centraal examen. Hoewel het NiNa-advies dus de visie rondom het centraal examen vsn de onderwijsraad aanhaalt, laat het NiNa-advies ook blijken dat er ruimte moet zijn voor *Cultuur* en *Persoonlijke Ontwikkeling*.

Men kan ook de vraag stellen of men überhaupt kennis over *Persoonlijke Ontwikkeling* en *Cultuur en Structuur van Wetenschap* wil toetsen op het centraal examen. Een van de belangrijkste redenen om dit wel te doen is dat docenten en leerboekontwikkelaars zich in sommige gevallen spiegelen aan het centraal examen. Dit zullen we ook terugzien in de komende twee paragrafen. Aan het einde van de bovenbouw moeten de leerlingen allemaal door dezelfde hoepel zagezegd. Docenten en leerboekontwikkelaars willen hun leerlingen daar zo goed mogelijk op voorbereiden. Door minder aandacht te besteden aan andere accenten in het CE loopt men dus het risico dat dit zich terugvertaalt in het onderwijs. Hier blikken we in de komende paragrafen op terug.

5.3 Leerboeken

Toelichting

Het leerboek is voor veel leerlingen en docenten een houvast als het gaat om het vak natuurkunde zoals ook in hoofdstuk 2.4 besproken is. Om een beeld te krijgen van de zwaartepunten in onderwijsdoelen bij de leerboeken zijn drie leerboeken geanalyseerd. De gebruikte leerboeken staan hieronder genoemd met bijbehorende beschrijving die de uitgever zelf heeft voorzien.

Newton [40] - Contextrijke natuurkundemethode. Newton biedt inspirerend en rijk materiaal voor boeiende lessen die je leerlingen vanuit hun eigen belevingswereld meenemen in de fascinerende wereld van natuurkunde, volgens het uitgangspunt: ‘eerst begrijpen, dan berekenen’.

Systematische Natuurkunde [41] - Vakgerichte natuurkundemethode. Systematische Natuurkunde daagt je leerlingen uit om diep in het boeiende vakgebied natuurkunde te duiken, volgens een systematische aanpak die helpt om de juiste denkstappen te maken bij het oplossen van natuurkundige vraagstukken.

Natuurkunde Overal [42] - Echte, actuele, herkenbare natuurkunde. Doelgericht naar de toets of het eindexamen. Beleef het vak met projecten en experimenten.

Samenvattend, identificeren Systematische Natuurkunde en Natuurkunde Overal zich meer als een methode die een leerling voorbereidt op het examen. Waarbij Natuurkunde Overal meer aandacht wil geven aan de experimentele kant van de natuurkunde. Goed om op te merken is dat Systematische Natuurkunde en Newton dezelfde uitgever hebben en dat er bewust voor een andere aanpak is gekozen bij Newton. Newton probeert meer vanuit de context en de belevingswereld kennis over te dragen op de leerling.

Implementatie

Per leerboek is specifiek het hoofdstuk rondom Quantumwereld geanalyseerd. Dit is op dezelfde manier gedaan als de methode waarop de examens zijn geanalyseerd. Per paragraaf wordt geteld welke onderwerpen aan bod komen. Wanneer een onderwerp één keer of vaker voorkomt, krijgt het betreffende onderwerp het label ‘meer’. Vervolgens is per leerboek het gemiddelde over alle paragrafen bepaald. Ook dit is op dezelfde manier gedaan als het gemiddelde over alle examens (zie 5.2). Tijdens de analyse is er ook op een ander vlak onderscheid gemaakt. Uit de testronde A.5.4 van het model is naar voren gekomen dat niet iedereen de opgaven heeft meegenomen tijdens het invullen van het evaluatiemodel. Daarom is per leerboek zowel de gehele paragraaf geanalyseerd als alleen de leestekst zonder opgaven of opgaven om te kijken of er verschil zit tussen het wel of niet gebruiken van opgaven. Zo is te zien in hoeverre opgaven impact hebben op de accentverdeling. Hoewel afbeeldingen van de paragrafen zelf niet gepubliceerd kunnen worden is in Appendix E te zien welke onderwerpen er per paragraaf zijn genoteerd. Ook zijn er uit het leerboek Systematische Natuurkunde twee andere hoofdstukken geanalyseerd om in beeld te kijken of het domein *Quantumwereld* nog andere accentverdelingen geeft dan oudere domeinen. De resultaten hiervan zijn te vinden in Appendix E.

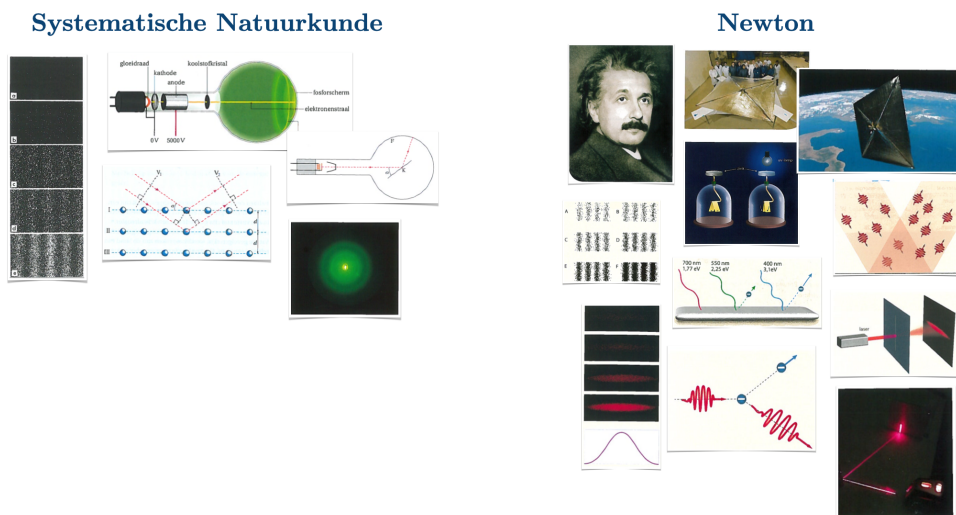
Resultaten

De zwaartepunten van het Quantumwereld-hoofdstuk uit de drie verschillende leerboeken zijn te vinden in figuur 5.6. De scores per methode zijn te vinden in tabel E.3 in Appendix E. Het is gemakkelijk te zien dat de leerboeken in grote mate dezelfde verdeling hebben in accentverdeling, de diagrammen zien er nagenoeg gelijk uit. Dit betekent niet dat de inhoud van de leerboeken gelijk is.



Figuur 5.6: Zwaartepunten van de quantumwereld hoofdstukken van de leerboeken Newton, Systematische Natuurkunde en Natuurkunde Overall.

Via verschillende aanpakken en onderwerpen geven alle drie de leerboeken vorm aan de onderwijsaccenten. In de diagrammen is één verschil te zien, namelijk bij het accent *Cultuur en Structuur van Wetenschap* bij het leerboek Newton. Dit komt omdat Newton meer aandacht geeft aan de maatschappelijke impact van modellen, de bruikbaarheid en toepasbaarheid van modellen en culturele en historische aspecten achter de besproken stof. De toepassingen die in de leerboeken genoemd worden, zijn wel veelal wetenschappelijk en worden dan vervolgens in een maatschappelijke context geplaatst. Hierbij moet aangegeven worden dat Newton meer stof overbrengt dan de andere twee leerboeken en dat een gedeelte van die toepassingen ook verwerkt zitten in de opgaven (zie verschil met figuur 5.9). Een sprekend voorbeeld hiervan is het gebruik van illustraties door de methodes Systematische Natuurkunde en Newton in de paragraaf over het deeltjesmodel. Het valt direct op dat Newton meer en gevarieerdere illustraties gebruikt, waar Systematische Natuurkunde meet focust op een aantal experimentele/academische illustraties.



Figuur 5.7: Illustraties uit SysNat en Newton horende bij de paragraaf over het deeltjesmodel.

De leerboeken Systematische Natuurkunde en Natuurkunde Overall hebben minder focus op *Cultuur*, en zijn bondiger. Systematische Natuurkunde heeft daarin nog een meer wiskundige opzet. Het leerboek focust zich meer op het nut van natuurwetenschap en de oriëntatie op de natuurwetenschappelijke werkwijze, veelal door academische toepassingen. De Verwevenheid met Wiskunde komt bij Systematische Natuurkunde sneller om de hoek kijken. Bij de andere twee leerboeken kunnen sommige opgaven wat wiskundiger overkomen wanneer het in de leertekst en bij eerdere opgaven vooral eerst om het begrip ging. Een voorbeeld hiervan is in figuur 5.8 te zien. Van de leerboeken Systematische Natuurkunde en Newton zijn de eerste opgaven te zien die een leerling kan maken na de leertekst over het deeltjesmodel. Waar Systematische Natuurkunde eerder ingaat op het berekenen van grootheden, probeert Newton in eerste instantie meer te focussen op het kwalitatieve begrip en de eigen uitwerking en verwoording door leerlingen. Later in de paragraaf volgen dan meer kwantitatieve opgaven.

Systematische Natuurkunde

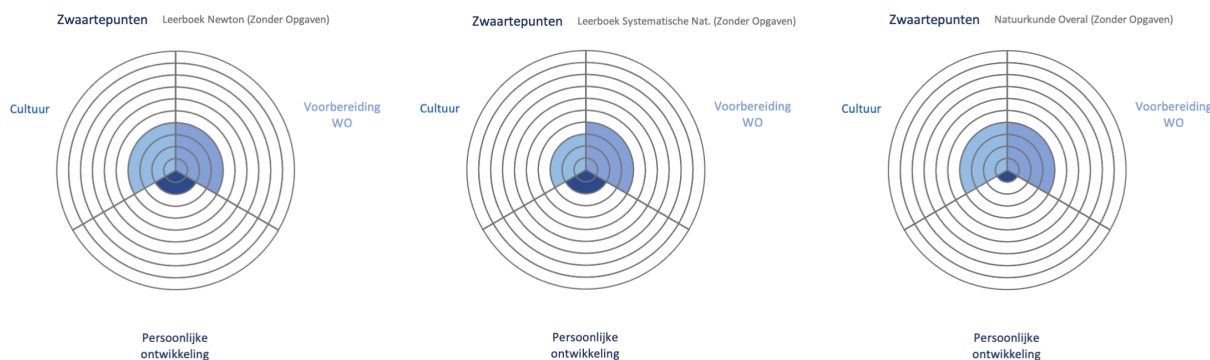
- 11 Volgens De Broglie kun je aan alle bewegende voorwerpen een golflengte toekennen.
Bereken de golflengte van:
- een persoon van 75 kg die wandelt met een snelheid van 5,0 km/h;
 - een zuurstofmolecuul met massa 32 u dat bij kamertemperatuur een snelheid heeft van 480 m/s;
 - een elektron dat in een elektronenbuis wordt versneld tot $v = 1,2 \cdot 10^6$ m/s.
- 12 Uit de formule voor de golflengte van De Broglie volgt voor de impuls p van een foton: $p = \frac{E}{c}$
- E is de energie van het foton in J.
 - c is de lichtsnelheid in m/s.
- Leid de formule $p = \frac{E}{c}$ af.
 - Bereken de impuls van een foton in licht met $\lambda = 380$ nm.
 - Bereken de snelheid van een elektron met $\lambda = 380$ nm.
- 13 Een foton met een golflengte van 1,195 nm botst frontaal op een stilstaand elektron. Hierdoor krijgt het elektron snelheid. Het foton dat terugkaatst, heeft een golflengte van 1,200 nm.
- Leg uit waarom het teruggekaatste foton een grotere golflengte heeft.
 - Bereken de golflengte van het bewegende elektron.
- Voor interacties tussen voorwerpen en deeltjes geldt de wet van behoud van impuls: de totale impuls voor de interactie is gelijk aan de totale impuls na de reactie.

Newton

- 30 Op atomair niveau wordt stralingsenergie geabsorbeerd als fotonen.
- Leg uit waardoor je wel lekker warm wordt maar niet mooi bruin, als je in je blootje onder een felle bouwlamp gaat liggen.
 - Leg uit dat je wel bruin kunt worden, als er een uv-lamp boven je hangt met veel minder vermogen dan een bouwlamp.
- 31 Leg uit waardoor een negatief geladen plaatje zink wel ontladen wordt door zwak uv-licht maar niet door het felle licht van bijvoorbeeld een bouwlamp.
- 32 Bij een experiment met het foto-elektrisch effect komen elektronen los uit een metaal en vliegen daarna weg met grote snelheid.
- Is de kinetische energie van elk elektron groter dan, kleiner dan of even groot als de fotonenergie? Leg uit.
 - Hoe verandert de kinetische energie van de losgekomen elektronen als licht gebruikt wordt met een grotere golflengte?
 - Wat verandert er als de golflengte van het licht steeds groter wordt gemaakt?

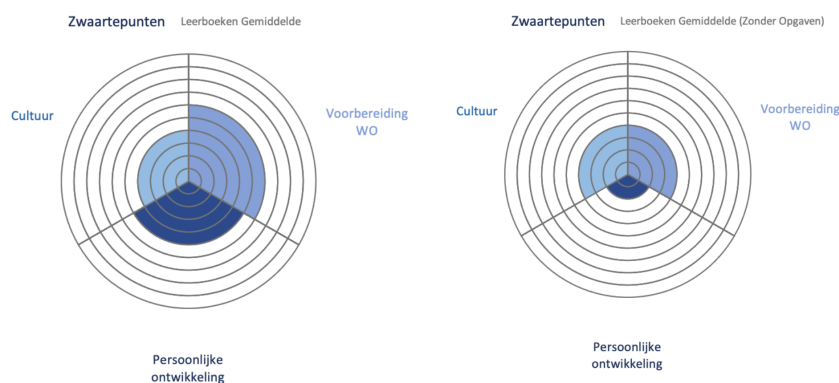
Figuur 5.8: Opgaven uit SysNat en Newton horende bij de paragraaf over het deeltjesmodel.

Newton geef zelf ook aan dat het in dat leerboek gaat om ‘eerst begrijpen, dan berekenen’. Natuurkunde Overall heeft, zoals de uitgever aangeeft, veel aandacht voor experimenten, meetdata en meetmethoden. Dit brengt automatisch aandacht mee voor concepten uit het dagelijks leven en het historische aspect van natuurkunde. Daarbij moet gezegd worden dat een gedeelte van de experimenten dan wel uitgevoerd moeten worden door de leerlingen. Wanneer de docent dit niet organiseert zullen veel leerlingen hieraan voorbij lezen.



Figuur 5.9: Zwaartepunten van de Quantumwereld hoofdstukken van de leerboeken Newton, Systematische Natuurkunde en Natuurkunde Overall zonder opgaven.

Wanneer we gemiddeld gezien (figuur 5.10) naar deze drie leerboeken kijken, zien we dat deze leerboeken wat betreft onderwijsaccenten dezelfde zwaartepunten hebben als de syllabus en het centraal examen. In de vorige paragraaf is dit ook besproken. Ook leerboekontwikkelaars spiegelen hun methode aan het centraal examen. Twee van de drie leerboeken zien dit ook als een van de karakteristieke punten van hun leerboek. Het is dan ook logisch om te zien dat de resultaten in vergelijking met de centrale examens op elkaar aansluiten. Het merendeel van de auteurs hebben zich vanaf 2010 laten inspireren door de pilot-examens en de syllabus omdat er verder in die tijd niet veel extra materiaal beschikbaar was. Daarom komen veel vergelijkbare onderwerpen (zoals een scanning tunneling microscope) ook in meerdere leerboeken terug. Ook zien we, net als bij het examen, de grote bijdrage van opgaven aan de invulling van *Persoonlijke Ontwikkeling*. Leerlingen leren door opgaven indirect veel vaardigheden rondom het analyseren, ontwerpen en verwoorden van problemen en complexe situaties. Tegelijkertijd laat dit ook zien wat leerlingen 'missen' wanneer opdrachten niet worden behandeld in de les. Opgaven zijn in dit geval meer dan alleen controles of een leerling de stof begrijpt. Opgaven helpen de leerling ook andere vaardigheden verder te ontwikkelen.



Figuur 5.10: Gemiddelde zwaartepunten van de Quantumwereld hoofdstukken van de leerboeken Newton, Systematische Natuurkunde en Natuurkunde Overal, met en zonder opgaven.

Als we dit resultaat met het NiNa-advies vergelijken zien we, net als bij het centraal examen, een verschil in zwaartepunten. Het NiNa-advies geeft in haar verwoording veel aandacht aan de bruikbaarheid en impact van quantumwereld en natuurkunde en de grote hoeveelheid (algemene) toepassingen. De toepassingen worden redelijk overgenomen door de leerboeken. Aangezien dit veelal wetenschappelijke toepassingen zijn, laten die niet direct het nut van quantummodellen zien naast het 'begrijpen' of 'duiden' van de natuur om ons heen. Ook de reflectie op de impact en de culturele kant van wetenschap komt daarin minder actief aan bod. Zo zou Quantumwereld volgens het NiNa-advies potentie hebben om een leerling te helpen om zich oriënteren op een natuurwetenschappelijk werkveld. Dit is dus ook een onderdeel dat een docent meer kan aanstippen tijdens de lessen. Het 'verbazen en verwonderen' is in een leerboek ook lastig uit te drukken. Het is daarom mogelijk dat een docent bepaalde accenten meer zal aanstippen. De beroepspraktijk komt nauwelijks in de leerboeken aan bod terwijl ook dit in het NiNa-advies sterker terugkomt. We zien dus dat de leerboeken, gemiddeld gezien, meer nadruk leggen op de academische kant van quantumwereld en de link met maatschappelijke opbrengst en de cultuur rondom wetenschap minder behandelen.

5.4 Docenten

Toelichting

Als laatste stap is het waardevol om te kijken hoe docenten invulling geven aan de drie onderwijsaccenten. Op verschillende plekken in dit verslag is besproken dat docenten dit op verschillende manieren kunnen doen. Docenten hebben daarmee wellicht het meeste impact op de ervaring van de leerling rondom het vak natuurkunde. Hoewel het niet binnen de reikwijdte van het onderzoek ligt om een gemiddelde onder docenten te reconstrueren, zijn drie docenten gevraagd om hun lessenserie te evalueren aan de hand van het evaluatiemodel. Op deze manier is inzicht te krijgen in hoe onderwijsdoelen in verschillende lessenseries terugkomen en hoe zich dit verhoudt tot de andere onderdelen in de onderwijspraktijk. Daarnaast wordt met behulp van de docenten (en de respondenten uit de testronde) bekeken of het evaluatiemodel potentie bevat om de onderwijspraktijk te verbeteren. De docenten zijn drie ervaren eerstegraads docenten die sinds 2015 het onderwerp behandelen. Twee daarvan geven les op dezelfde school.

Implementatie

Het gehele evaluatieproces is uitgevoerd in één Excel-bestand waar het evaluatiemodel en twee vragenlijsten in verwerkt zijn op dezelfde manier als het model in appendix A.5 is toegelicht. Ter inleiding krijgt de docent een werkblad met een korte instructie en een inleiding op de onderwijsdoelen. Vervolgens krijgt de docent de opdracht om de eerste vragenlijst in te vullen aan de hand van zijn lessenserie Quantumwereld:

1. Ben je van mening dat het domein quantumwereld terecht in het examenprogramma zit, waarom? Zo ja, wat is volgens jou de toegevoegde waarde van quantummechanica voor het natuurkunde examenprogramma?
2. Wat zou volgens jou de reden(en) zijn waarom leerlingen quantummechanica aangeboden krijgen bij natuurkunde op het vwo?
3. Wat is de centrale boodschap uit jouw lessenserie quantumwereld die leerlingen mee moeten krijgen?
4. We kunnen onderwijsdoelen verdelen in drie accenten zoals in de pagina hiervoor is gedaan. Welke accenten krijgen in jouw lessenserie het meeste ruimte? Zet de drie accenten op volgorde van veel ruimte naar weinig ruimte.
5. Ben je van mening dat er bepaalde onderwerpen of accenten binnen het domein quantummechanica te weinig ruimte krijgen? Zo ja, welke?
6. Aan welk onderwijsaccent zou jij meer ruimte willen geven in je eigen lessenserie, waarom?

Daarna vult de docent het evaluatiemodel in aan de hand van zijn eigen lessenserie over Quantumwereld. Nadat de docent de resultaten heeft bekeken wordt de tweede vragenlijst ingevuld. Deze staat op het laatste werkblad.

7. Ontbreken er volgens jou onderwerpen in de input van het evaluatiemodel of zijn er onderwerpen die volgens jou onduidelijk geformuleerd zijn?
8. Kwam er uit het evaluatiemodel een andere rangorde in onderwijsaccenten dan dat je had aangegeven in vragenlijst 1? Zo ja, heb je daar een verklaring voor?
9. Als je de het resultaat vergelijkt met het centraal examen, wat valt je dan op?
10. Als je de het resultaat vergelijkt met het NiNa-rapport, wat valt je dan op?
11. Als je de het resultaat vergelijkt met het gemiddelde van drie leerboeken, wat valt je dan op?
12. Ben je van mening dat er een bepaald onderwijsaccent meer of minder aandacht mag krijgen binnen jouw lessenserie? Waarom?
13. Het model heeft ook tekstueel commentaar. Hebben de suggesties die daar genoemd worden nut voor je eigen lessenserie of biedt het aanknopingspunten om lessen mee te evalueren?
14. Ben je van mening dat sommige inzichten uit het model een positief effect kan hebben op jouw onderwijspraktijk of de onderwijspraktijk in het algemeen? Licht je antwoord toe.
15. Mogen jouw antwoorden anoniem worden verwerkt in dit bijbehorende onderzoek?

De belangrijkste resultaten worden in de volgende paragraaf besproken. Op sommige plekken wordt naar specifieke antwoorden uit de verschillende vragen geciteerd. De complete resultaten met alle antwoorden van de deelnemende docenten zijn te vinden in Appendix F om de leesbaarheid van de hieronder beschreven resultaten te vergroten.

De resultaten worden besproken op twee niveaus. Als eerste kijken we of en hoe drie verschillende docenten invulling geven aan onderwijsdoelen. Vervolgens worden de resultaten van de docenten en de respondenten besproken om te kijken of het evalueren op basis van onderwijsdoelen potentie heeft.

Resultaten - Invulling van onderwijsdoelen door docenten.

De eerste twee vragen laten docenten reflecteren op de reden dat het domein Quantumwereld in het examenprogramma zit. Indirect zijn ze hier al met onderwijsdoelen bezig. Hierin komt met name het nieuwe en andere karakter en het modellerende karakter van quantummechanica naar voren en de vaardigheden die het leerlingen kan bieden. Het is dan ook niet lastig om hier al te zien dat verschillende onderwijsaccenten hierin terugkomen. Als we kijken naar de antwoorden uit de derde vraag, waarin docenten moeten aangeven welke boodschap er in hun lessenserie zit, beantwoorden twee docenten specifiek de modelmatige kant van quantummechanica. Docent 2 focust zich op het feit dat de natuurwetten anders zijn bij kleine deeltjes. Ook daarin is het verschil in modellen in de vorm van natuurwetten terug te vinden.

1. ... wat is volgens jou de toegevoegde waarde van quantummechanica voor het natuurkunde examenprogramma?

1. De toegevoegde waarde is voor mij dat er een stuk moderne natuurkunde aan bod komt: zaken die een aantal leerlingen zeker zal interesseren.
2. De toegevoegde waarde is dat leerlingen zien dat in de natuurkunde : 1) alles helemaal niet zo zeker is ; 2) dat in een andere wereld" (nl. die van kleine deeltjes) zaken anders werken/in elkaar zitten ; 3) theorieën (zoals de klassieke mechanica) maar een beperkte geldigheid hebben
3. leerlingen maken toch even kennis met deze revolutionaire ontwikkeling.

2. Wat zou volgens jou de reden(en) zijn waarom leerlingen quantummechanica aangeboden krijgen bij natuurkunde op het vwo?

1. Ik denk dat het invoegen van moderne natuurkunde de voornaamste reden is.
2. (zie ook vorige vraag) anders leren denken, anders leren kijken
3. "Het wordt ook aangeboden vanwege bepaalde natuurkundige vaardigheden zoals denken in modellen, impuls, golfoptica en interferentie. Daarnaast zie bovenstaande."

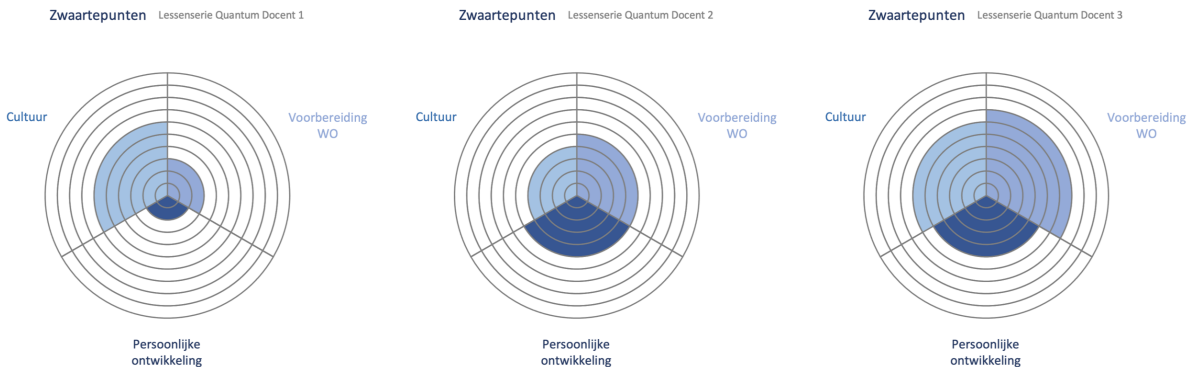
Wanneer de docenten gevraagd worden om een accentverdeling aan te geven voor hun eigen lessenserie zien we daarin een aantal verschillen (zie figuur 5.11). Als eerste valt op dat geen van de drie docenten dezelfde accentverdeling heeft. Hier komt één van de kernpunten van dit onderzoek naar voren, namelijk dat er sterke verschillen kunnen zijn in de invulling van onderwijsdoelen binnen het domein Quantumwereld. Die onderwijsaccenten kunnen afhankelijk van de docent op verschillende manieren en in verschillende mate nadruk krijgen in lessenseries.

Docent 1	Docent 2	Docent 3
1. Cultuur	1. Persoonlijke Ontwikkeling	1. Cultuur
2. Voorbereiding WO	2. Voorbereiding WO	2. Persoonlijke Ontwikkeling
3. Persoonlijke Ontwikkeling	3. Cultuur	3. Voorbereiding WO

Figuur 5.11: Accentverdeling van de drie deelnemende docenten zoals door hen zelf in ingeschat.

Met behulp van het evaluatiemodel kunnen docenten inzicht krijgen in hoeverre deze verschillen ook terugkomen in hun lessen. De resultaten hiervan zijn te zien in figuur 5.12. De verdeling van Docent 1 komt overeen met zijn verwachtingen. De accentverdelingen van Docent 2 en 3 verschillen met hun verwachtingen. Hoewel er interpretatieverschillen in het model aanwezig zijn (zie paragraaf 4.2 en A.5.3) geven de docenten daarover het volgende aan. Docent 2: *"Persoonlijke ontwikkeling is sterker. Dit vind ik zelf ook wel belangrijk, dus dat komt er dan toch wel uit."* Zoals in A.5.3 ook besproken is kan het evaluatiemodel een reflecterende werking hebben op het inzicht van de gebruiker. Docent 2 ziet door het evaluatiemodel dat hij in praktijk ook veel aandacht voor persoonlijke ontwikkeling heeft en daar kan hij zich in vinden. Docent 3 heeft het volgende aangegeven over zijn verdeling: *"Voorbereiding WO scoort toch iets hoger. Volgorde is wel wat arbitrair. Ik twijfel bij meerdere items waardoor de ranking ook iets anders kan worden."* Hoewel de docent hierin gelijk heeft laat dit ook zien dat via meerdere methode manieren

indirect aan de voorbereiding voor het WO wordt bijgedragen. Een paar verschillen in de veertig onderwerpen hadden dan ook geen drastisch verschil opgeleverd. Daarnaast geeft Docent 3 wanneer hij zijn resultaat met het CE vergelijkt de volgende reflectie (vraag 9): *Voorbereiding WO is hier (bij het CE) het zwaarstwegend. Bij mij ook en dat komt denk ik door het oefenen met examenopgaven.* In paragraaf 5.2 hebben we gezien in hoeverre het centraal examen ook op dezelfde accentverdeling uitkomt zoals we terugzien bij Docent 3. Ook valt op dat Docent 3 relatief veel onderwerpen terug laat komen in zijn lessen. De docent geeft in zijn antwoord op vraag 11, 13 en 14 aan dat de hij probeert veel stof terug te laten komen.



Figuur 5.12: Accentverdeling van de drie deelnemende docenten zoals uit het evaluatiemodel is gekomen.

Bij alle drie de docenten zijn op verschillende manieren de lessen bezocht of besproken. De verschillen zijn over het algemeen terug te zien in de instructiestijlen van de docenten. Docent 1 probeert in zijn lessenserie meer het 'verhaal' rondom Quantumwereld te delen, waar docent 2 bijvoorbeeld meer met rekenvoorbeelden doet. Dit komt terug in de verdeling. Ook Docent 3 oefent actief met opgaven uit het CE zoals hierboven is beschreven. Docent 1 wijkt in zijn lessenserie meer af van het CE: *"De suggesties die gedaan worden [Door het evaluatiemodel], zijn zaken die ik eigenlijk ook echt wel doe. Alleen leg ik daar gevoelsmatig niet de nadruk. Dat komt pas in tweede instantie. Ik denk dat ik 'mijn lessenserie' vooral zie als de eerste stap, en aanbrenge van de stof. Daarna komt een fase van intrainen, maar dat zie ik meer als het afhechten, het nawerk, en minder als 'behorend bij de lessenserie'."* Dit laat duidelijk twee dingen zien. Als eerste dat Docent 1 bewust de keuze maakt om zich op cultuur te focussen (zie ook de antwoorden op vraag 3, 6, 12). Ook in de lesobservaties die bij deze docent zijn uitgevoerd kwam dit terug. Ten tweede komt in deze resultaten naar voren hoezeer docenten zich spiegelen aan het CE zoals deze Docent 1 ook in zijn antwoord terug laat komen op vraag 12. Het CE is dan ook sterk vormend voor docenten zoals we bij de verdelingen van Docent 2 en 3 en bij de reflectie van Docent 1 zien.

Zowel Docent 2 als 3 laten in hun eigen reflectie wél zien dat ze meer nadruk op cultuur zouden willen leggen (zie vraag 5 en 6). Docent 2 'de filosofische/wereldbeeldkant'. Docent 3 wil 'meer tijd en mogelijkheid om een bijpassend experiment uit te voeren'. We zien hier dat beide docenten onderdelen willen verbeteren die bijdragen aan het onderwijsaccent dat het minst aan bod komt in hun eigen lessenserie volgens het evaluatiemodel. Docent 1 geeft ook aan nog meer te willen investeren in kennis rondom de cultuur en structuur van wetenschap. Uit paragraaf 5.3 is gebleken dat juist dit accent gemiddeld gezien minder aandacht krijgt in de leerboeken. Zowel Docent 1 als Docent 3

geven aan naar het boek te kijken bij de invulling van hun lessen (zie vraag 14). Docent 1 merkt op hoezeer de leerboeken in accentverdeling overeenkomen met het CE: *Het valt me op dat ook de leerboeken, net als het CE, nogal afwijkt van de NiNa-doelstelling, maar dat het wel mooi aansluit op het CE (of andersom natuurlijk)*. Aan de andere kant is inspiratie om invulling te geven aan het culturele accent in leerboeken gemiddeld gezien minder aanwezig concludeert Docent 1 (vraag 14): *"Ik vind het materiaal in het boek ook nog niet heel erg steun-biedend."* Ook Docent 3 geeft aan dat hij de 'maatschappelijke' relevantie' als 'aanvulling' aanbiedt. Docent 2 geeft aan zijn accentverdeling prima te vinden en geen noodzaak ziet om deze aan te passen, naast de wens om meer aandacht te geven aan de filosofische kant.

Ook deze drie docenten willen op verschillende niveaus wel meer nadruk leggen op het accent *Cultuur*. In het NiNa-advies komt *Cultuur* ook het meeste aan bod. Docent 2 geeft aan dat hij 'aardig in lijn met NiNa werkt'. In de volgende paragraaf wordt dit kort doorgesproken. Docent 1 reflecteert: *"Ik denk dat wat NiNa wil, veel te ambitieus is voor zo'n versnipperd programma. Ik denk dat bijvoorbeeld het 'ontwerpen van toepassingen of experimenten' veel te hoog gegrepen is binnen de ruimte die deze stof biedt."* Dat terwijl een van de nadrukken uit het NiNa-advies juist gericht is op de toepassingen van natuurkunde (zie paragraaf 5.1). Docent 2 zegt het volgende over het NiNa-rapport: *"Bij NiNa zijn de items over de gehele breedte meer aanwezig maar daarvoor ontbreekt de tijd."* Hoewel geen van de docenten dus principieel iets tegen een zwaartepunt voor *Cultuur* lijken te hebben, worden er wel vragen gesteld bij de uitvoerbaarheid en invulling daarvan.

Resultaten - Potentie en effectiviteit evaluatiemodel

De laatste twee vragen van de vragenlijst waren gericht om de docenten te laten reflecteren op het nut en de potentie van het evaluatiemodel. De resultaten daarvan zijn hieronder te zien.

13. Het model heeft ook tekstueel commentaar. Hebben de suggesties die daar genoemd worden nut voor je eigen lessenserie of biedt het aanknopingspunten om lessen mee te evalueren?

1. Ik heb eerlijk gezegd deze opmerkingen ook al gebruikt om de diagrammen te interpreteren. Dus in die zin heb ik er zeker wat aan.
2. Ik ben het er niet zo mee eens (m.n. bij het verschil met de leerboeken)
3. Dat zou binnen NLT mogelijk beter kunnen. Ook daar is een module Quantumfysica. Er zijn allerlei zinvolle suggesties maar het ontbreekt aan tijd.

14. Ben je van mening dat sommige inzichten uit het model een positief effect kan hebben op jouw onderwijspraktijk of de onderwijspraktijk in het algemeen? Licht je antwoord toe.

1. Ja, op zich wel. Maar ik moet nog wel even goed gaan denken hoe ik dat zou moeten aanpakken. Ik vind het materiaal in het boek ook nog niet heel erg steun-biedend.
2. nee
3. Ik denk het niet, ik volg zo goed en kwaad als dat gaat het lesboek en dat krijg ik nooit af. Tijdens de lessen geef ik ook eigen aanvullingen (zoals maatschappelijke relevantie)

De antwoorden op deze vragen zijn verschillend. Docent 2 geeft in zijn antwoord op vraag 11 aan dat volgens hem de verschillen in accenten groter zijn aangegeven dan ze zijn. Ook in paragraaf 4.2 is dit besproken. In essentie probeert het evaluatiemodel meer de prioritering in accenten aan te geven dan kwantitatief de verschillen uit te drukken. Het visuele resultaat kan hier wel toe verleiden. Hierover wordt in de conclusie van dit onderzoek nog doorgesproken. De docent was verder niet bereid om zijn antwoorden toe te lichten. Toch laat de betreffende docent in zijn verdere antwoorden aan de hand van het model wel reflectie en een vergaand inzicht zien (zie vraag 8 en 10). Nu kunnen de tekstuele suggesties die genoemd worden in het model 'verplichtend' overkomen. Verder is het tekstuele commentaar standaard gegenereerd en kan het zo zijn dat een docent suggesties krijgt die hijzelf al prima uitvoert. Docent 3 laat in zijn antwoord op vraag 13 zien dat de suggesties zinvol zijn, maar dat volgens hem de effectiviteit van het model beperkt wordt door de tijd die voor het domein Quantumwereld beschikbaar is. Hij noemt een betreffende NLT module dan ook als geschikte kandidaat voor de suggesties die het evaluatiemodel geeft. Ook Docent 2 laat in zijn antwoorden een zekere reflectie zien met hulp van het model (zie vraag 9). De vragen die hierbij gesteld zijn spelen daar een positieve rol in en zouden in de toekomst een dergelijk model kunnen ondersteunen. Docent 1 geeft aan dat hij de inzichten nuttig vindt en de tekstuele opmerkingen gebruikt heeft voor de interpretatie. Uit de testronde is naar voren gekomen dat het merendeel van de respondenten (grotendeels bestaande uit docenten en studenten) aangaf nut te zien in het evaluatiemodel en de tekstuele suggesties. Zie hiervoor Appendix A.5.3, specifiek vraag 10 en 11. De verschillende resultaten laten zien dat het respondenten lukt om te evalueren op basis van onderwijsaccenten en dat het merendeel dit als een positieve insteek ervaart. Daarbij valt of staat het proces wel bij de uitvoering daarvan. We zien in de antwoorden van de vragenlijsten dat de evaluatiestappen in dit model met name op 'inzicht' en 'bewustwording' gericht zijn. In het volgende hoofdstuk wordt hierover de slotconclusie met aanbevelingen geformuleerd.

HOOFDSTUK 6

Conclusie en Aanbeveling

Dit hoofdstuk vat de belangrijkste conclusies van dit onderzoek samen over de eenduidigheid en invulling van onderwijsdoelen in het quantumonderwijs. Als eerste wordt de effectiviteit van het evaluatiemodel besproken met daarbij suggesties voor verbeteringen. Vervolgens wordt er geconcludeerd wat de observaties zijn over de invulling van de onderwijsaccenten in verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk. Daarbij worden er per onderdeel ook enkele aanbevelingen gedaan aan de hand van de uitvoerige analyses tussen de verschillende onderdelen in hoofdstuk vijf.

6.1 De Effectiviteit van het Evaluatiemodel

Dit onderzoek heeft gebruik gemaakt van een nieuw evaluatiemodel, met de bijbehorende onderzoeksvraag:

- 2. Kunnen we een evaluatiemodel ontwikkelen dat als 'proof of concept' dient voor het evalueren van de onderwijspraktijk op basis van het implementeren van onderwijsdoelen?*

Hoewel het niet binnen de reikwijdte van dit onderzoek lag om de volledige betrouwbaarheid van het evaluatiemodel te bepalen is er gebruik gemaakt van verschillende testrondes met twaalf docenten en studenten om de validiteit van het model als 'proof of concept' te testen. Dit onderzoek concludeert dat het merendeel van de respondenten laat zien dat het evaluatiemodel daadwerkelijk inzichten biedt die aan kunnen zetten tot reflectie voor de gebruiker. Dit wordt ook door het merendeel van de respondenten actief bevestigd. De betrouwbaarheid van het evaluatiemodel en de bijbehorende inzichten blijven wel gebonden aan de interpretatie van de gebruiker. Het model biedt op het moment van dit onderzoek nog beperkt concrete invullingen om de evaluatie om te zetten in verandering. Ook de analyses met behulp van het evaluatiemodel uit hoofdstuk vijf laten zien dat dit model in positieve zin bijdraagt aan het vergaren van inzicht in de onderwijspraktijk van het quantumonderwijs. De analyses uit hoofdstuk vijf laten zien dat de verworven inzichten uit het evaluatiemodel verdedigbaar zijn en consistent blijken te zijn met de onderwijspraktijk. Hierbij gaat het met name om het inzicht aan welke accenten de meeste ruimte wordt besteed. Het evaluatiemodel blijft wel interpretatie gevoelig. Er zijn dan een aantal opmerkingen en suggesties aan deze conclusie verbonden:

- Verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk hebben meer tijd en ruimte om invulling te geven aan bepaalde onderwijsdoelen. Het visuele resultaat van het evaluatiemodel kan bijvoorbeeld de indruk wekken dat een enkele les Quantumwereld

te invulling geeft aan een bepaald accent wanneer je dit met het NiNa-advies vergelijken wordt, terwijl dit in verhouding al een groot aandeel in de les zou kunnen hebben. Met de beschikbare tijd of ruimte houdt het model geen rekening.

- Hoewel het model erin slaagt om verschillen te laten zien, kan het gekozen diagram visueel indrukken geven die in werkelijkheid subtieler liggen. Het ruimtelijke verschil tussen 80% en 90% lijkt in het figuur groter dan een verschil tussen 20% en 30%. Daarnaast is het doel van het evaluatiemodel juist om te laten zien aan welke accenten meer/minder aandacht besteed wordt. Hoewel het model daarin slaagt zouden er meerdere visuele uitwerkingen mogelijk zijn om verschil in volgorde in onderwijsaccenten te laten zien. Een aantal daarvan zijn ter inspiratie uitgewerkt in Appendix G.
- Hoewel het model gebruik maakt van tekstueel commentaar, en dit door het merendeel van de respondenten als positief wordt ervaren, zijn deze automatisch gegenereerd en zullen deze pas écht impact maken als deze persoonlijk gegenereerd kunnen worden voor de gebruiker. Idealiter zou een dergelijk model laten inzien welke onderdelen de gebruiker als 'minder' heeft aangegeven en die informatie gebruiken in combinatie met het resultaat om effectieve suggesties te geven. Dit is in theorie zeker mogelijk, maar dit lag niet meer in de reikwijdte van het onderzoek.
- Het evaluatiemodel blijft interpretatieverschillen met zich meebrengen op een aantal punten. Er kan verschil in inzicht zijn over welke onderwerpen werken aan welk accent, wat 'meer'/'minder' betekent, wat elk onderwerp betekent en wat de ideale wens van de gebruiker zelf is. Hoewel dit onderzoek met het gebruik van het evaluatiemodel duidelijk heeft aangegeven welke interpretaties zijn gedaan, neemt het model voor persoonlijk gebruik (bijvoorbeeld bij docenten) deze verschillen wel mee. Het model valt of staat dan bij de gebruiker die de resultaten van het evaluatiemodel interpreteert.
- Uit de testrondes blijkt dat de vragen uit de vragenlijst behulpzaam zijn voor het evaluatieproces. Dergelijke vragen zouden in het evaluatiemodel inbegrepen kunnen worden.

Concluderend laat dit model dus de waarde zien van het kijken naar onderwijsdoelen. Ook is uit dit onderzoek gebleken dat er voldoende ruimte bestaat om op deze manier verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk op hun implementatie van het domein Quantumwereld te evalueren. Daarnaast laat het evaluatiemodel de potentie zien van een applicatie die in korte tijd evaluatiepunten kan bieden voor zowel docenten als leerboekontwikkelaars en examenmakers. Als laatste bleek dat er vraag is naar concrete voorbeelden die als inspiratie kunnen dienen voor docenten, de zogeheten 'best practices'. Wanneer het evaluatiemodel (of een ander medium wat dat betreft) dergelijke suggesties kan geven, verhoogt dat naar alle verwachting de slagkracht van dit evaluatieproces. Ook heeft dit evaluatiemodel, en daarmee dit onderzoek, niet gekeken naar de *soort* kennis die bij de accenten en de verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk. Het kan van toegevoegde waarde zijn om daar in de toekomst naar te kijken zodat helder mag worden welke soort kennis van de leerling verwacht wordt en op welke manier die aangeboden en getoetst wordt. Een analyse met behulp van de Taxonomy van Bloom zou hierbij een toegevoegde waarde zijn [43].

6.2 De Onderwijsdoelen van Quantumwereld

De centrale onderzoeksvraag is hieronder weergegeven.

1. *Kunnen we de doelstellingen van het quantumonderwijs in het middelbaar onderwijs in kaart brengen, en kunnen we daarbij inzichtelijke maken in welke mate deze onderwijsdoelen invulling krijgen in de onderwijspraktijk?*

Het eerste gedeelte van deze vraag is in de vorige paragraaf al deels bevestigd. Hoewel uit literatuuronderzoek is gebleken dat er geen expliciete onderwijsdoelen zijn opgesteld voor domein Quantumwereld, wordt er wel impliciet gebruik gemaakt van de onderwijsdoelen van het natuurkundeonderwijs in het algemeen. Ook deze worden echter niet eenduidig binnen het onderwijs gedeeld, maar kunnen worden samengevat via verschillende accentverdelingen. De onderstaande accentverdeling is voor dit onderzoek gebruikt en wordt ook in de context van het Nederlandse natuurkunde onderwijs gebruikt.

1. **Vorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs**

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

2. **De Cultuur en Structuur van Wetenschap**

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

3. **Persoonlijke ontwikkeling**

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Hoewel de gedachten achter deze accenten her en der in de onderwijspraktijk terugkomen, blijkt uit dit onderzoek dat er weinig wordt gereflecteerd met behulp van onderwijsdoelen. De vraag 'waarom geven we natuurkunde?' zou in elk gedeelte van de onderwijspraktijk vaker gesteld kunnen worden als onderdeel van reflectie en evaluatie. Juist als men natuurkunde in de toekomst nog een relevant vak wil laten zijn. Testrondes met in totaal twaalf respondenten geven over het algemeen aan dat het nuttig is om hier aandacht aan te besteden. Dit onderzoek laat daarnaast zien dat er op verschillende manieren en in verschillende mate invulling gegeven kan worden aan deze accenten in de onderwijspraktijk. Vier onderdelen uit de onderwijspraktijk, zoals die in hoofdstuk vijf zijn besproken, worden hieronder aangestipt. Daarmee wordt ook deze onderzoeksvraag bevestigd. Het is mogelijk gebleken om bij verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk inzichtelijk te maken in welke mate de hierboven genoemde accenten invulling krijgen. Elk van de onderzochte onderdelen biedt op zichzelf weer nieuwe mogelijkheden tot vervolgonderzoek vanuit een wijziging of invulling van onderwijsdoelen. Zo kan er onderzocht worden of bepaalde domeinen beter geschikt zijn om invulling te geven aan bepaalde accenten. Uit de analyse in dit onderzoek blijkt dat Quantumwereld daarin veel voor het accent *Cultuur en Structuur van Wetenschap* kan betekenen.

6.3 Adviesrapport examenprogramma NiNa

Het NiNa-advies komt het dichtst bij een indicatie voor de beoogde onderwijsdoelen voor Quantumwereld. Hoewel ze met name impliciet genoemd worden, komen alle drie de onderwijsaccenten terug in het advies. Dit onderzoek concludeert dat dit adviesrapport in het spreken over Quantumwereld de meeste invulling geeft aan de *Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Het advies ziet voor Quantumwereld een uitgesproken kans om met (algemene) toepassingen en nieuwe concepten de maatschappelijke impact van wetenschap te laten zien en een oriëntatie te bieden op natuurwetenschap. Toch is die oriëntatie op natuurwetenschappen niet gemakkelijk expliciet terug te vinden in de onderwijspraktijk. Ook de andere onderwijsaccenten komen in het advies uitgebreid aan bod. Het NiNa-advies schetst daarmee een inspirerend maar mogelijk te ambitieus beeld van het domein Quantumwereld. Dit kan deels verklaard worden doordat het advies weinig handvatten biedt om concrete invulling te geven aan de genoemde initiatieven. Hoewel het begrijpelijk is dat dit niet de taak van het adviesrapport was, zouden de initiators achter het rapport en het verantwoordelijke ministerie wel aangespoord mogen worden om ook op concreet niveau meer invulling van de opgestelde adviezen in gang te zetten. Dit zou naast pilot-programma's of nieuwe examens beschikbaar moeten zijn. Concreet kan men hierbij denken aan handleidingen, concrete leerdoelen, opgaven die gebruik maken van de vele toepassingen die in het advies genoemd worden en daarnaast uitgewerkte voorbeelden en toepassingen waar het NiNa-advies dus vaak naar refereert. Instanties als SLO kunnen hier in potentie veel aan bijdragen wanneer hier capaciteit beschikbaar voor gemaakt kan worden.

Daarnaast mag een dergelijk advies in de toekomst explicieter uitspreken waarom en met welk doel er aanpassingen worden gedaan in het natuurkunde curriculum. We lezen in het document een merendeel van opmerkingen die gericht zijn op de cultuur rondom wetenschap. Toch zien we dit minder terugkomen in de examens en leerboeken die zijn geanalyseerd in dit onderzoek. Sommige docenten geven wel aan hier zelf invulling aan te geven. Het zou niet wenselijk zijn als in de onderwijspraktijk toch het merendeel van de tijd besteed wordt aan rekensommen oefenen, terwijl er een ander beeld over Quantumwereld in het initiële advies wordt gegeven. Recent onderzoek laat zien dat het ook in andere Europese landen een uitdaging is om het quantumonderwijs te gebruiken voor de *Cultuur en Structuur van Wetenschap* en *Persoonlijke Ontwikkeling* terwijl daar wel kansen liggen [39]. Tegelijkertijd toont het genoemde onderzoek aan dat er variatie zit tussen verschillende landen en dat er goede voorbeelden tussen zitten. Het zou van toegevoegde waarde zijn om een blik te werpen op curricula die een andere accentverdeling implementeren. Dit zou een aantal geschikte uitwerkingen kunnen opleveren.

6.4 Centraal Schriftelijk Examen

De centrale examens laten zien dat het mogelijk is om op verschillende manieren en in verschillende mate invulling te geven aan onderwijsdoelen. Waar sommige examens gebruik maken van de kwantitatieve of modelmatige kant van Quantumwereld zijn er andere examens die meer gebruik maken van de leefwereld van de leerling of overlap bieden met andere natuurwetenschappelijke gebieden. Dit onderzoek concludeert daarbij dat, gemiddeld gezien (over de jaren 2016 tot en met 2019), het CE bij vragen binnen het domein Quantumwereld de meeste nadruk legt op het accent *Vorbereiding voor het*

Wetenschappelijk Onderwijs. Het valt op dat daarin specifiek voorgesorteerd wordt op het *natuurkundig* wetenschappelijk onderwijs. Examenopgaven werken over het algemeen vanuit contexten en laten leerlingen op verschillende niveaus analyseren en reflecteren. De examenopgaven werken op deze manier, hoewel in mindere mate, ook aan *Persoonlijke Ontwikkeling*. De examens laten daarnaast zien hoe modelmatig er al met het domein Quantumwereld wordt omgegaan. Er wordt meer gemodelleerd dan direct bekend is. De grote hoeveelheid contexten en de variëteit waarin quantummodellen worden toegepast laat indirect iets zien van de impact van wetenschap. Leerlingen worden echter niet actief gestimuleerd om hierover te reflecteren op het examen of hiermee aan het werk te gaan. Het CE behandelt op een aantal plekken culturele aspecten, maar de leerling heeft deze aspecten zelden nodig om de opgave op te lossen. Hierin zit vermoedelijk ook de uitdaging van de 'toetsbaarheid' van culturele aspecten van wetenschap en van bepaalde vaardigheden. Hoewel idealiter het School Examen hierin een rol zou kunnen vervullen, betekent het niet dat het Centraal Examen vrij is om hier minder op te toetsen. Het feit dat de toetsbaarheid een uitdaging is, betekent niet dat er niet getoetst hoeft te worden. Het is bekend hoe normatief het CE blijkt te zijn voor docenten en leerboeken; ook in dit onderzoek is dat te zien. Zo geven leerboeken zelf aan leerlingen voor te bereiden op het CE. Het zou daarom van toegevoegde waarde zijn als het CvTE en CITO verder mogelijkheden onderzoekt om leerlingen tijdens het CE te laten reflecteren op de modelmatigheid en de maatschappelijke en culturele impact van quantummodellen wanneer het CE meer zou willen aansluiten op de opgestelde NiNa-adviezen.

6.5 Leerboeken

De drie leerboeken die onderzocht zijn in dit onderzoek laten zien in hoeverre deze leerboeken de leerlingen voorbereiden op het Centraal Examen (bij het domein Quantumwereld). Dit onderzoek concludeert namelijk dat alle drie onderzochte leerboeken de meeste invulling geven aan onderwijsdoelen ter *Vorbereitung op het WO*, zoals het Centraal Examen dat doet. Er was in de periode voor 2015 buiten de nieuwe examenprogramma's en het pilot-materiaal weinig materiaal beschikbaar om de methodes op te baseren. Met name de pilot-examens hebben hier een sturende factor gehad. Twee van de drie onderzochte leerboeken geven specifiek aan de leerling te willen voorbereiden op het examen. Daarnaast is gebleken dat auteurs hierin wel voor enige eigen invulling hebben gekozen en dat deze verschillen per leerboek. Waar het ene leerboek meer de geschiedkundige kant van Quantumwereld behandelt, richt het andere leerboek zich bijvoorbeeld meer op de verschillen tussen het golf- en deeltjesmodel bijvoorbeeld. Uit het onderzoek is gebleken dat de opgaven sterke invloed hebben op de uitkomst in accentverdeling. Het blijkt dat de opgaven primair werken aan vaardigheden, het uitvoeren van (kwantitatieve) analyses en ruimte bieden voor de eigen invulling van leerlingen en daarmee dus het meest bijdragen aan de accenten *Persoonlijke Ontwikkeling* en *Vorbereitung voor het WO*. Er zijn leerboeken die verschillende 'typen' vragen hebben. Leerboeken maken daarmee ook gebruik van opgaven om invulling te geven aan het culturele aspect.

De suggesties met respect tot de leerboeken zullen in eerste instantie op didactisch vlak liggen, maar dit was geen onderdeel van het onderzoek. Door het relatief 'jonge' karakter van het onderwerp zijn er gemiddeld gezien minder didactische hulpmiddelen beschikbaar in vergelijking met een ouder onderwerp als elektriciteit of dynamica. Leerboeken komen daarin soms wat 'versnipperd' over, zoals door een aantal respondenten uit dit onderzoek geconcludeerd wordt. Dit onderzoek laat zien dat de leerboeken in mindere mate reflecte-

ren op het nut, de impact en toepasbaarheid van het domein Quantumwereld. Zo worden er met name wetenschappelijke toepassingen gebruikt en is er weinig verbinding met de beroepspraktijk. Deze maatschappelijke context zou een mogelijkheid zijn om de 'versnipperde' onderdelen meer als één geheel te laten overkomen. Toch heeft in de praktijk de syllabus een sturende werking zoals in hoofdstuk 5 is aangegeven. Wanneer er meer aandacht moet zijn voor de toepasbaarheid en opbrengst van Quantumwereld zal ook de Syllabus hier aandacht aan moeten geven.

6.6 Docenten

Dit onderzoek laat zien dat docenten op verschillende manieren aan de onderwijsaccenten invulling geven. De verschillen tussen de drie docenten zijn in verhouding veel groter dan de verschillen tussen de geanalyseerde examens of leerboeken. Hoewel hier een eigen interpretatie van de docenten zelf in verwerkt is, laat dit de impact en variëteit van het werk van de docent zien. In hoofdstuk 2.4 van dit onderzoek is al behandeld dat de docent de *methode* van het leerproces vormgeeft en daarmee gebruik maakt van materiaal (leerboeken bijvoorbeeld) en toetsing. Enerzijds kunnen we hieruit opmaken dat docenten bewust keuzes maken om bijvoorbeeld het culturele accent meer of minder te behandelen in de les. Dit is ook uit het onderzoek gebleken. Anderzijds laat het zien dat het niet voor iedere docent voor de hand ligt om bepaalde aspecten te behandelen. Wanneer er vanuit het ministerie of vernieuwingscommissies de wens is dat bepaalde aspecten behandeld moet worden, zullen die ook in het examenprogramma (of de syllabus) terug moeten komen.

Dit onderzoek moedigt docenten aan om bij dit relatief 'jonge' domein Quantumwereld gebruik te maken van meerdere leerboeken. De verschillen in genoemde toepassingen en didactische inzichten bieden inspiratie om de lessen rondom Quantumwereld beter op elkaar te laten aansluiten en meer verbinding te maken met de maatschappelijke impact van de modellen. Als laatste spreekt dit onderzoek de wens uit voor meer en toegankelijk benaderbaar materiaal voor docenten. Het gaat dan met name over docenten die midden in het schooljaar geen ruimte ervaren om gebruik te maken van een cursus of boeken over quantumdidactiek, maar simpelweg baat hebben bij geschikte voorbeelden van toepassing en opgaven van een aantal quantummodellen. Deze zouden vrijwel direct gebruikt moeten kunnen worden. De respondenten uit dit onderzoek geven aan dat dit een positief effect kan hebben op de onderwijspraktijk. Verder zou het interessant zijn om een analyse te doen van de toetsen van de docenten. Dat laat zien op welke accenten de docenten bij hun eigen toetsing het meeste focussen. Het zou mogelijk zijn dat docenten meer ruimte geven voor het culturele accent. In dat geval zouden dergelijke toetsen inspirerend kunnen zijn voor examenmakers. Aan de andere kant zouden de toetsen meer richting de accentverdeling van de leerboeken en het CE kunnen liggen. Als laatste is er een groep die niet actief betrokken is geweest in dit onderzoek en dat zijn de leerlingen zelf. Hoewel het niet meer in de reikwijdte van het onderzoek paste, zou het van waarde zijn om ook bij de leerlingen van de betrokken docenten de accentverdeling te introduceren. Het zou daarin specifiek interessant zijn om te zien welke accenten leerlingen zelf zouden aanwijzen als zwaartepunt in de lessenserie die ze gevolgd hebben. Op die manier zou er een completer beeld gevormd worden of de beoogde onderwijsdoelen daadwerkelijk zijn behaald, zoals ook Guskey in zijn onderzoek over het evalueren van professionele ontwikkeling bespreekt [44]. Het gaat uiteindelijk toch om de positieve impact dat het vak natuurkunde bij hen mag hebben. Genoeg te doen nog!

HOOFDSTUK 7

Dankwoord en Contactgegevens

Tijdens dit onderzoek heb ik van veel mensen hulp mogen krijgen. Bedankt Henk voor de begeleiding en alle goede gesprekken die we mochten hebben. Welk idee ik ook had, je probeerde altijd mee te denken om het tot een goed resultaat te brengen. Wanneer je na een van onze vele gemakkelijke gesprekken zei: 'Dit soort gesprekken is ons werk Bart.' realiseerde ik mij dat dit onderzoek eigenlijk nooit als werk heeft gevoeld. Dankjewel!

Ed, dank voor je hulp en de moeite die je in dit onderzoek hebt gestopt. Ik heb veel aan je feedback en inhoudelijke opmerkingen gehad en de gesprekken met jou zijn altijd inspirerend. Bedankt!

Als laatste wil ik alle 'respondenten' bedanken. Helaas kan ik je voor het onderzoek niet bij naam noemen, maar je hulp was onmisbaar. Dank voor je inzet, inzichten en adviezen!

Mocht je opmerkingen of vragen hebben na het lezen van dit verslag of zou je graag het evaluatiemodel willen bekijken dan kun je contact opnemen met:

Bart Folkers
b.folkers@student.utwente.nl

Bibliografie

1. Ministerie van Onderwijs Cultuur en Wetenschap. *Wijziging Regeling examenprogramma's VO i.v.m. het vernieuwen van de examenprogramma's natuurkunde havo en vwo en biologie havo en vwo* <https://www.examenblad.nl/publicatie/20120428/wijziging-regeling-examenprogramma/2021>.
2. Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo. Nederlandse Natuurkundige Vereniging. *Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's voor havo en vwo* (2010).
3. Nienhuis, G. Niemand begrijpt de quantummechanica, maar iedereen kan die toe-passen. *Academische Boekengids* (2010).
4. Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. & Van Joolingen, W. R. Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research* **13**. ISSN: 24699896 (2017).
5. NVON, Sectie Natuurkunde. *Verslagen Landelijke examenbespreking* 2016.
6. Krijtenburg-Lewerissa, K., Pol, H. J., Brinkman, A. & Van Joolingen, W. R. Secondary school students' misunderstandings of potential wells and tunneling. *Physical Review Physics Education Research*. ISSN: 24699896 (2020).
7. Karakostas, V. & Hadzidaki, P. Realism vs. constructivism in contemporary physics: The impact of the debate on the understanding of quantum theory and its instructional process. *Science and Education*. ISSN: 09267220 (2005).
8. Koopman, L. *A developmental research on introducing the quantum mechanics formalism at university level* proefschrift (2011). ISBN: 978-0-85724-505-2.
9. Van Den Berg, E., Eijkelhof, H. & Wooning, J. *Het 'natuurkunde- onderwijsveld' over de CE-syllabi* (2019).
10. Van den Berg, E., van Rossum, A., Grijsen, J., Pol, H. & van der Veen, J. in *Research and Innovation in Physics Education: Two Sides of the Same Coin* (red. Guisasola, J. & Zuza, K.) (Springer International Publishing, 2020).
11. Fink, A. *Evaluation for education & psychology* ISBN: 0803958544 9780803958548 (Sage Publications, Thousand Oaks, Calif. SE, 1995).
12. Ebbens, S. & Ettekoven, S. *Effectief leren* 4de ed. ISBN: 9789001873127 (Noordhoff Uitgevers, 2016).
13. Kortland, K., Mooldijk, A. & Poorthuis, H. *Handboek natuurkundededidactiek* (Epsilon Uitgaven, 2017).
14. Thijs, A. & van den Akker, J. *Leerplan in ontwikkeling. Leerplan in ontwikkeling*. <http://www.slo.nl/downloads/2009/leerplan-in-ontwikkeling.pdf/> (2009).

15. Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO). *Curriculumontwikkeling, Leerdoelen* 2020. <https://www.slo.nl/thema/meer/curriculumontwikkeling/instrumenten/spinnenweb/leerdoelen/>.
16. Rijksoverheid. *Toekomstgericht curriculum* 2020. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/toekomst-onderwijs/toekomstgericht-curriculum> (2020).
17. Osborne, J. & Dillon, J. Science Education in Europe: Critical Reflections (jan 2008).
18. Lijnse, P. *Omzien in verwarring* 563. ISBN: 9789070786250 (2014).
19. Millar, R., Osborne, J. & Nott, M. Science education for the future. *School Science Review* **80**, 19–24. ISSN: 0036-6811 (1998).
20. Pol, H. Dutch. in *Handboek natuurkundedidactiek* (red. Kortland, K., Mooldijk, A. & Poorthuis, H.) 13–20 (Epsilon Uitgaven, 2017). ISBN: 978-90-5041-163-9.
21. Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO). *Onderwijsdoelen natuurkunde* 2020. <https://www.slo.nl/sectoren/havo-vwo/natuurkunde-havo-vwo/bovenbouw/onderwijsdoelen/>.
22. Hoekzema, D., Schooten, G., van den Berg, E. & Lijnse, P. Het Project Moderne Natuurkunde. *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* (apr 2010).
23. Cohen, D. K., Raudenbush, S. W. & Ball, D. L. Resources, Instruction, and Research. *Educational Evaluation and Policy Analysis* (2003).
24. Marzano, R. J. & Miedema, W. *Leren in vijf dimensies: moderne didactiek voor het voortgezet onderwijs* ISBN: 9023254953 (Koninklijke Van Gorcum, 2018).
25. Stocklmayer, S. M. & Treagust, D. F. A historical analysis of electric currents in textbooks: A century of influence on physics education. *Science & Education* (1994).
26. Woldhuis, E., Rodenboog, M., Heijnen, M. & Fisser, P. *Leermiddelenmonitor 17/18* tech. rap. (Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO), Enschede, 2018).
27. Berkel, H. V. & Bax, A. *Toetsen in het hoger onderwijs* ISBN: 9789036816786 (2017).
28. Downing, S. M. & Haladyna, T. M. *Handbook of test development* ISBN: 0805852646 9780805852646 0805852654 9780805852653 (L. Erlbaum, 2006).
29. De Commissie-Fokker, NNV. in (Wolters, Groningen, The Netherlands).
30. Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs. *Natuurkunde Leeft. Een visie op het vak natuurkunde in havo en vwo* (2008).
31. Van Berkel, B. *The structure of current school chemistry* ISBN: 9073346606 (2005).
32. De Putter, L., Taconis, R., Jochems, W. & Van Driel, J. De emphases van docenten biologie, scheikunde en natuurkunde en de gevolgen voor curriculum vernieuwingen. *Tijdschrift voor Didactiek der Bètawetenschappen* **28**, 33–48 (2011).
33. Van Den Berg, E. & Kouwenhoven, W. Ontwerponderzoek in vogelvlucht. *Tijdschrift voor lerarenopleiders* (2008).
34. Kuiper, W. *Curriculumevaluatie en verantwoorde vernieuwing van bètaonderwijs*. (2009).
35. Wubbels, T., Brekelmans, M., den Brok, P. & van Tartwijk, J. An Interpersonal Perspective on Classroom Management in Secondary Classrooms in the Netherlands. *Handbook of Classroom Management* (2015).

36. CeVO - CvTE. Natuurkunde VWO Syllabus centraal examen 2019 (2017).
37. natuurkundeuitgelegd.nl. *Examenindex 1999 t/m 2020* <https://www.slo.nl/thema/meer/curriculumontwikkeling/instrumenten/spinnenweb/leerdoelen/>.
38. Onderwijsraad. Examinering: draagvlak en toegankelijkheid.
39. Stadermann, H. K. E., van den Berg, E. & Goedhart, M. J. Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **15**, 010130. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130> (1 mei 2019).
40. Flokstra, J. *Newton 6 vwo Basisboek. Natuurkunde voor de bovenbouw* (2015), Vierde. ISBN: 9789006312966 (ThiemeMeulenhoff bv.).
41. Ottink, H. *Systematische natuurkunde 6 vwo* (2015), Achtste. ISBN: 9789006313192 (ThiemeMeulenhoff bv.).
42. Sonneveld, W. *Natuurkunde Overal, 6 vwo* (2015), Vierde. ISBN: 9789011757936 (Noordhoff Uitgevers).
43. Forehand, M. Bloom's taxonomy. *Emerging perspectives on learning, teaching, and technology* **41**, 47–56 (2010).
44. Guskey, T. R. Does it make a difference? Evaluating professional development. *Educational leadership* **59**, 45 (2002).
45. Plomp, T. & Nieveen, N. *An Introduction to Educational Design Research* (2007).
46. Wateridge, J. IT projects: a basis for success. *International Journal of Project Management*. ISSN: 02637863.
47. Wieggers, K. & Beatty, J. *Software requirements* ISBN: 0735679622 (Pearson Education, 2013).
48. Reiss, M. English. in (Brill — Sense, Leiden, The Netherlands, 2007). ISBN: 9789087901677.
49. Roberts, D. A. Developing the concept of “curriculum emphases” in science education. *Science Education* **66**, 243–260. ISSN: 1098237X (1982).

Appendices

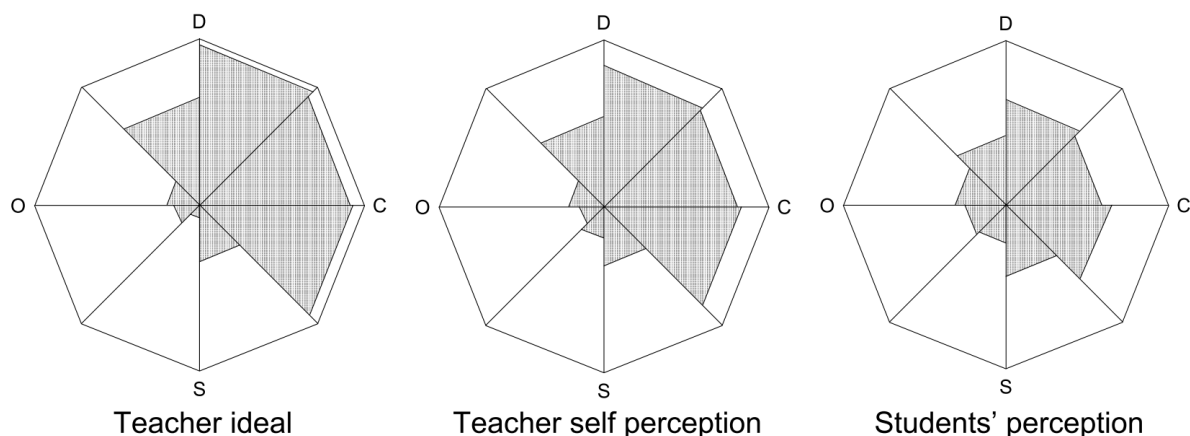
BIJLAGE A

Ontwerpcyclus Evaluatiemodel

A.1 Analyse

De leerling krijgt tijdens het leerproces op verschillende manieren te maken met onderwijsdoelen. Via de toetsen, de examens, de onderwerpen en werkvormen in de les, en het leerboek. Vanuit dit perspectief, de onderwijspraktijk, zal bekeken worden welke onderwijsdoelen daadwerkelijk worden behandeld in de onderwijspraktijk en waar het accent op ligt. In een rapport van SLO over Curriculumevaluatie en vernieuwing van bètaonderwijs wordt een verdeling van Goodlad genoemd om op drie verschillende manieren tegen curriculumevaluaties aan te kijken: *inhoudelijk*, *technisch-professioneel* en *sociaal-politiek* [34]. Deze manier van onderscheid maken wordt regelmatig gebruikt [45] [14]. Ook het hierboven genoemde SLO rapport draagt deze accenten aan om te gebruiken bij curriculumevaluaties van bètaonderwijs in de tweede fase. Als basis voor een evaluatiemodel van dit ontwerponderzoek wordt het *inhoudelijk*- perspectief gebruikt. Dit kan als volgt omschreven worden: *wat zijn op grond van welke overwegingen de belangrijkste doelen en inhouden, in hoeverre slaagt men er in deze inhouden in samenhang te ordenen en zijn doelen, inhouden, didactiek en toetsvormen adequaat op elkaar afgestemd.*

Als onderdeel van de analyse is ook een oriëntatie gedaan naar 'goede voorbeelden' [33]. Een deel van deze goede voorbeelden, met name rondom succes criteria van modellen, zijn uitgewerkt in het programma van eisen dan hieronder te lezen is. Een van de centrale inspiraties voor de praktische werking van het evaluatiemodel is de Vragenlijst Interpersoonlijk Leraarsgedrag (VIL). [35]. Dit model heeft als input een vragenlijst waarbij vragen behandeld moeten worden over de onderwijspraktijk, gespecificeerd op het gedrag van de leraar. Het model berekent vervolgens waar de zwaartepunten in het gedrag liggen volgens het Model Interpersoonlijk Leraarsgedrag en zet dit vervolgens om in een windroos-diagram.



Figuur A.1: Visuele output van de Vragenlijst Interpersoonlijk Leraarsgedrag [35]

De vragenlijst wordt door leerlingen en docenten ingevuld. De verschillen tussen de perspectieven vormen vervolgens een basis voor reflectie. Het VIL-Model maakt in zekere zin de beweging die het evaluatiemodel voor dit ontwerponderzoek ook moet maken: inzicht bieden in het onderwijsproces, bekeken vanuit de onderwijspraktijk, via een vereenvoudigd model. Het VIL-model is onder andere gebruikt door de masteropleiding *Educatie en Communicatie in de Bètawetenschappen* aan de Universiteit Twente en heeft daarmee in ieder geval laten zien dat het in de praktijk goed te gebruiken is. Het laat daarmee zien dat het aan een set aan eisen voldoet rondom de gebruikservaring om impact te kunnen maken in praktijk. Wanneer een model daadwerkelijk wil bijdragen aan onderwijsverbetering, zal ook de intuïtieve gebruikerservaring in orde moeten zijn.

A.2 Programma van Eisen

Er zijn op verschillende manieren eisen op te stellen voor een ontwerp. De volgende eisen zijn opgebouwd vanuit de literatuurstudie, de analyse, de besproken VIL en een aantal bronnen over software en IT-projecten [46] [47]. Voor dit ontwerp is ervoor gekozen om eigenlijk twee primaire eisen op te stellen die verdeeld zijn tien specifieke eisen. Deze eisen worden gecheckt en behandeld in de deeltuitwerkingen (A.3) en de ontwerp evaluatie (A.5).

A.2.1 Gemakkelijk in gebruik

De hierboven genoemde bronnen noemen de gebruikerservaring als een primair criterium voor een succesvolle applicatie. Eigenlijk ligt dit voor de hand. Het is vanzelfsprekend dat gebruikers geen zin hebben in lange vragenlijsten of pagina's vol complexe resultaten. Vooral docenten zijn gebaard bij simpele tools die gemakkelijk inzicht bieden in hun lespraktijk, als ze hier al tijd voor hebben. Dit brengt ons op de volgende vijf eisen rondom het gebruik van het evaluatiemodel:

- **Binnen 15 minuten een inzicht in de lespraktijk.**

Hierboven werd al beschreven hoezeer het belangrijk is dat een evaluatiemodel intrinsiek niet veel tijd zou moeten innemen. Docenten zijn doorgaans, hoewel anders aangeleerd, te druk om in rust op de onderwijspraktijk te evalueren. Daarom zou het evaluatiemodel in ieder geval snel te gebruiken moeten zijn. Ter inspiratie, zou

een docent het model moeten kunnen gebruiken in een kleine of grote pauze (15 á 30 minuten). Dat betekent natuurlijk niet dat een docent er zich niet langer in kan verdiepen.

- **Intuïtief te gebruiken.**

Een logische implicatie van de eis hierboven is dat er voor een minimaal gebruik niet meer dan een geringe instructie nodig mag zijn. Ook tijdens het invullen van het evaluatiemodel mag er geen sprake zijn van onduidelijkheden waardoor de evaluatie niet gemaakt kan worden. Daarnaast kan er in theorie meer tekst en uitleg wenselijk zijn wanneer een docent hier langer mee aan het werk wil gaan.

- **Het gehele model moet te gebruiken zijn op vrijwel elke computer.**

Het bevordert het gebruikersgemak niet wanneer docenten eerst via een website het model moeten invullen of een onbekend programma moeten installeren om het te kunnen gebruiken. Ook is het wenselijk om het model (instructie, input, verwerking en output) opgeslagen te hebben in één bestand.

- **Resultaat direct zichtbaar na invoer.**

Gebaseerd op de eerste eis, zal het resultaat uit het model direct zichtbaar moeten kunnen zijn, zoals we bij het VIL-model ook hebben gezien. Dit gegeven vormt de basis voor veel simulatiemodellen.

- **Te gebruiken voor elke component in de onderwijspraktijk.**

De gebruiker moet het evaluatiemodel voor verschillende onderdelen kunnen gebruiken. Denk hierbij aan een lessenserie of juist een enkele les, een toets, een applet, een nieuw leerboek of een vraag op het centraal examen. Hier mag men geen verschillende inputvarianties voor nodig hebben, dit zou het gebruiksgemak teveel verlagen.

A.2.2 Krachtige in Analyse

Wil een model, naast vele gebruikersaantallen, ook nog impact willen maken op de onderwijspraktijk, dan moet het inhoudelijk ook een sterke analyse kunnen aanleveren. Dit komt tot uiting in de volgende eisen:

- **Geeft zwaartepunt en contrast weer.**

Het model moet uiteindelijk kunnen aangeven waar het zwaartepunt ligt ten opzichte van de verschillende onderwijsaccenten en welke onderwijsaccenten in meer en mindere mate aan bod komen. Hierbij gaat het er dus bijvoorbeeld niet om of een docent 20 % of 25 % van de les besteed aan 'kennis voor het vervolgonderwijs', maar juist of dit meer of minder is dan de hoeveelheid aandacht voor de 'cultuur van wetenschap'.

- **Geeft mogelijkheid om verschillende onderdelen in de onderwijspraktijk te vergelijken.**

Uiteindelijk moet het model ook analytisch in staat zijn om verschillende onderdelen vanuit het onderwijs, bijvoorbeeld een les en een beleidsdocument, met elkaar te gaan vergelijken zodat de implementatie van onderwijsdoelen in kaart gebracht kan worden.

- **Visueel inzichtelijk.**

Zowel geïnspireerd door de VIL als door de eisen rondom het gebruik van het model,

zal het evaluatiemodel ook een visueel beeld moeten kunnen geven van de resultaten uit de analyse. Dit maakt het model veelzijdiger voor verschillende gebruikers en heeft ook een positief effect op de interpretatie(tijd) voor de gebruiker.

- **Lage gevoeligheid voor verschillende interpretaties.**

Zowel bij het invullen als het uitlezen van het evaluatiemodel mag het resultaat niet onbruikbaar zijn door een verschil in interpretatie van de gebruiker. Dit is een uitdagende eis. Het ontwerp zal dan ook heler proberen te krijgen waar verschillende interpretaties rondom het model zitten, zodat hier rekening mee gehouden kan worden tijdens de analyse. De hier genoemde eisen proberen bij te dragen aan het verlagen van deze gevoeligheid.

- **Het evaluatiemodel biedt concrete ontwikkelingspunten voor de lespraktijk.**

Naast het inzicht over de lespraktijk van de gebruiker, dat al veel verbetering kan veroorzaken, is het van belang dat het model ook zelf concrete suggesties kan aanleveren aan de gebruiker. Dit verhoogt het gebruikersgemak en verlaagt ook de gevoeligheid voor interpretaties van het model.

A.3 Ontwerpvoorstel en Deeluitwerkingen

Uit de analyse en het programma van eisen is een ontwerpvoorstel opgebouwd. Het evaluatiemodel zal bestaan uit drie onderdelen/deeluitwerkingen: de *input*, het *proces* en de *output*. Als *input* vraagt het evaluatiemodel van de gebruiker een aantal antwoorden op een korte vragenlijst gebaseerd op de onderwijspraktijk. Hierna koppelt het evaluatiemodel in een modelmatig *proces* deze *input* aan een verdeling van onderwijsdoelen en berekent het evaluatiemodel de zwaartepunten. Vervolgens wordt er een *output* gerealiseerd waarin een visueel diagram de gebruiker helpt om de onderwijspraktijk inzichtelijk te maken. Ook bevat de *output* een beknopte omschrijving met wat evaluatiepunten. In de secties hieronder worden de drie deeluitwerkingen besproken met daarbij de belangrijkste ontwerpkeuzes.

A.3.1 Input

De input van het model is gebaseerd op zes geanalyseerde rapporten en literatuur van dit ontwerp onderzoek:

1. Rapport: Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs. Natuurkunde Leeft. Een visie op het vak natuurkunde in havo en vwo. 2008. *Pagina: 6-8, 19, 21-23.*
2. Artikel: Michael Reiss. What should be the aim(s) of school science education?. Via Handboek Natuudkundedidactiek [13] *Pagina: 9-12.*
3. Artikel: Roberts. Developing the concept of “curriculum emphases” in science education. *Pagina: 246-249.*
4. Artikel: De Putter, et al. De emphases van docenten biologie, scheikunde en natuurkunde en de gevolgen voor curriculum vernieuwingen. *Pagina: 36-37.*
5. Boek: Lijnse. Omzien in verwarring. 2014. Verspreid over hoofdstuk 2. *Pagina: 41-44, 50-55, 69-79, 112-116.*

6. Rapport: Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo. Nieuwe natuurkunde, advies-examenprogramma's, 2010. *Pagina: 8-12, 35-41, 54, 88-91, 104-106.*

Hieruit zijn veertig onderwerpen naar voren gekomen. Dit zijn niet de verschillende domeinen die we binnen het natuurkunde onderwijs maar generieke onderwerpen die binnen elk domein, dus ook quantummechanica voor kunnen komen. Deze lijst met onderwerpen is als volgt opgesteld. Een aantal van de hierboven genoemde bronnen geven concrete onderwerpen ter illustratie voor genoemde onderwijsaccenten of curriculum ontwikkelingen. Dit kwam met name gedaan in bronnen 1, 5 en 6. Vervolgens is er gekeken of deze onderwerpen ook bij andere bronnen werden genoemd. Dit kan direct of indirect zijn. Vervolgens is er gekeken of sommige onderwerpen duidelijker verwoord konden worden. Om dit te illustreren zijn er twee voorbeelden uitgewerkt.

De onderwerpen 'Randvoorwaarden van modellen', 'Verschillen tussen modellen' en 'Ontstaan en de aard van modellen' zijn bijvoorbeeld geformuleerd aan de hand verschillende citaten uit bron 1, 3 en 5. Hiervan zijn er een aantal hieronder weergegeven. We zien dat niet overal de verwoordingen letterlijk terug komen. Dit is dus een voorbeeld dat laat zien hoe sommige onderwerpen herformuleerd zijn zonder de inhoud erachter aan te passen.

- *De leerling leert te werken met theorieën en modellen door onderzoek te doen naar natuurkundige en scheikundige verschijnselen als elektriciteit, geluid, licht, beweging, energie en materie.* - CVN
- *De programma's bieden ruimte aan de ontwikkeling van vaardigheden op het gebied van onderzoeken, modelleren, ontwerpen en zelfstandig leren.* - CVN, Lijnse.
- *the adequacy of a particular model for explaining phenomena at hand (as noted earlier about the PSSC physics textbook), the changing and self-correcting nature of scientific knowledge, the influence of an investigator's "conceptual principles" on the kind of theory developed, etc.* - Robbets
- *limits of science in coping with practical affairs* - Robbets
- *Leerlingen kunnen zo inzicht verwerven in de gevolgen van (verkeerde) modelaannames, en bijvoorbeeld de beperkte voorspelbaarheid van chaotische processen.* - CVN
- *Aangezien lege ruimte en volkomen elastische botsingen in de macroscopische wereld geen alledaagse zaken zijn, kan de stap naar dergelijke aannamen voor leerlingen pas echt plausibel worden wanneer de deeltjes reeds wezenlijk verschillen van macrodeeltjes... Bovendien kan dan een eerste begin gemaakt worden met een expliciete bespreking van de vraag in hoeverre invariantie een zinvolle aanname is, en welke eigenschappen nu wel en niet aan deeltjes toegekend moeten worden.* - Lijnse
- *Ook konden alle leerlingen uitleggen waarom zij bepaalde aannames wel of niet in het model hadden opgenomen.* - Lijnse
- *Bovendien zijn er ook applets die verschijnselen zichtbaar maken die niet eenvoudig in een fysiek model te vangen zijn (elektrische en magnetische veldlijnen van willekeurige ladings- en stroomverdelingen bijvoorbeeld).* - CNV

Andere onderwerpen zijn iets directer uit de bronnen te halen. Een voorbeeld daarvan is de aandacht voor 'Het nut van natuurwetenschap':

- *het leren gebruiken van (wiskundige) modellen voor het verklaren en voorspellen van verschijnselen om ons heen van direct nut is in andere vakgebieden dan alleen de (traditionele) natuurkunde. - CNV, NiNa*
- *En zij kan in alledaagse zaken nuttig zijn, bijv. om veilig te kunnen handelen in het verkeer, of beslissingen te kunnen nemen bij de aanschaf van artikelen. - CNV, Lijnse*
- *Later wordt het, via reflectie op het nut van het model, interessant om na te denken over de mate van geloof in het bestaan van de deeltjes en over de vraag door welke ervaringen die mate van zekerheid wordt bepaald. - Lijnse*
- *En is dit soort kennis alleen van cultureel belang of kunnen we die ook nuttig maken voor ons leven hier? ... De evolutie van ons technisch kunnen – Techniek is handelen met materie tot nut van ons mensen. - Lijnse*
- *...en de vraag of we dit soort kennis ook nuttig kunnen gebruiken. - Lijnse*
- *... ook voor de andere bètavakken is het nuttig uit te kunnen gaan van specifieke voorkennis van natuurkunde. - NiNa*
- *meer aandacht voor beroepen en nut van toepassingen van de natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs gewenst. - NiNa*
- *Voorbeelden zijn onderzoek naar en aanwending van nanotechnologie, informatie- en communicatietechnologie en het nuttig gebruiken van onze kennis van het menselijk genoom. - NiNa*

Deze stappen zijn gemaakt voor elk van de veertig onderwerpen. Tijdens de evaluatie van het model wordt ook aandacht besteed aan de volledigheid van deze lijst. De focus ligt er bij de lijst met onderwerpen op welke onderwerpen er worden behandeld en niet zo zeer via welke soort kennis kennis dit onderwerp besproken wordt. In Appendix A zijn alle veertig onderwerpen uitgewerkt met een verwijzing naar de bron waarop het onderwerp met name is gebaseerd. Sommige termen zijn dus herformuleert om de helderheid te verbeteren of om beter aan te sluiten bij de spreiding in interpretatie van verschillende bronnen. Als voorbeeld zijn de eerste acht onderwerpen hieronder uitgewerkt en wordt per onderwerp aangegeven in welke bron het onderwerp (gedeeltelijk) benoemd wordt. Deze onderwerpen zullen in het de volgende sectie aan de onderwijs accenten gekoppeld worden.

Onderwerpen	CVN [30]	Reiss [48]	Roberts [49]	Putter [32]	Lijne [18]	NiNa [2]
Randvoorwaarden en de aard van modellen	x		x		x	
Verschillen tussen modellen	x		x		x	
Het ontstaan van modellen	x	x	x	x	x	x
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model			x	x		x
Maatschappelijke context van het model		x	x			x
Interpretaties van modellen		x	x	x		x
Experimenten en meetdata	x	x			x	x
Het nut van natuurwetenschap	x				x	x
Meetmethoden	x	x	x		x	

Tabel A.1: Een gedeelte van de onderwerpen voor de vragenlijst als input voor het evaluatiemodel met daarbij aangegeven op welke bronnen het betreffende onderwerp is gebaseerd. De gedetailleerde lijst is te bekijken in Appendix A.

De gebruiker zal via de input aangeven welke onderwerpen nu in meer of mindere mate in de context voorkomt. Dit kan op verschillende manieren. Hiervoor zijn drie methodes uitgewerkt. Deze worden kort besproken.

Multiple Choice

De eerste methode is hieronder weergegeven. Hoewel het in eerste instantie intuïtief kan werken om gebruik te maken van vier opties die de mate van gebruik aangeven, kunnen er wat interpretatieverschillen ontstaan rondom de begrippen middelste begrippen *gering*, *regelmatig* en *veel*. Hierdoor ontstaan ook verschillende resultaten. Deze uitdaging zal kleiner zijn met het gebruik van cijfers, maar die zeggen intuïtief minder over de praktijk. Ook zien we doorgaans dat mensen vaak voor de genuanceerde of veilig optie kiezen en daardoor is contrast minder gemakkelijk te maken. Het kan behulpzaam zijn om het 'gering' of 'regelmatig' te kunnen aangeven ten opzichte van een ander onderwerp. Deze methode is hieronder uitgewerkt.

	Niet	Gering	Regelmatig	Veel
Randvoorwaarden en de aard van modellen	x			
Verschillen tussen modellen			x	
Het ontstaan van modellen		x		
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model			x	
Maatschappelijke context van het model		x		
Interpretaties van modellen				x
Experimenten en meetdata		x		
Meetopstellingen		x		
Meetmethoden	x			

Tabel A.2: De input van het evaluatiemodel met de Multiple Choice invoermethode.

Pick and Choose

De tweede onderzochte methode is het uitspelen van twee opties tegen elkaar. Dat betekent dat de gebruiker in plaats van veertig vragen nu twintig vragen moet beantwoorden. De gebruiker moet vervolgens aangeven aan welk onderwerp er meer aandacht wordt besteed. Deze aanpak is minder gevoelig voor een verschil in interpretatie en zou bijna wiskundig gemeten kunnen worden in een praktische situatie. Toch houdt het model niet rekening met opties waarbij twee onderwerpen beide veel aan de orde komen. De optie die niet gekozen wordt weegt dan op geen enkele manier mee aan het resultaat. Daarnaast werkt deze optie niet goed in met de modellen om onderwijsdoelen te verdelen. Zoals in de volgende sectie besproken wordt zijn veel onderwerpen onder te verdelen over meerdere onderwijsdoelen. Hierdoor is de kans voor sommige onderwerpen groter om gekozen te worden. In tegenstelling tot beide andere *input*-opties is het lastig om daarvoor te corrigeren bij deze methode. Ook hangt het resultaat af van welke onderdelen er tegen elkaar uit worden gezet. Dit resulteert eigenlijk in een extra input of interpretatiestap wat in het geval van dit evaluatiemodel niet wenselijk is.

Randvoorwaarden van modellen	x		Samenhang met andere beta-vakken
Verschillen tussen modellen	x		Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen
Gezondheid en veiligheid		x	Het ontstaan en de aard van modellen
Zelfstandig leren en werken		x	Bruikbaarheid en toepasbaarheid
Meetopstellingen		x	Culturele aspecten van natuurkunde

Tabel A.3: De *input* van het evaluatiemodel met de *Pick and Choose* invoermethode.

Meer/Minder

De derde methode is een combinatie van de twee eerdergenoemde opties. De gebruiker heeft hierbij de keuze tussen twee opties *meer* of *minder* en wordt hierdoor gestimuleerd om zelf al contrast te maken in de praktijk. De simpele keuze zal het gebruiksgemak verhogen. Toch is er nog sprake van een lichte gevoeligheid op de interpretatie van de gebruiker. Dit zal naar verwachting een gering effect hebben op de uitkomst van het model, aangezien de gebruiker meer dan veertig vragen moet invullen. Daarnaast zal het model nog steeds een inzicht kunnen geven in de onderwijspraktijk als de gebruiker de vragenlijst volgens zijn of haar interpretatie consistent invult. De evaluatiemodel zal namelijk naar contrast tussen onderwijsdoelen kijken.

	Minder	Meer
Randvoorwaarden en de aard van modellen	x	
Verschillen tussen modellen	x	
Het ontstaan en van modellen		x
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model		x
Maatschappelijke context van het model	x	
Interpretaties van modellen		x
Experimenten en meetdata	x	
Het nut van natuurwetenschap		x
Meetmethoden		x

Tabel A.4: De *input* van het evaluatiemodel met de *Meer/Minder* invoermethode.

Alle opmerkingen meegenomen zal het de laatste methode, namelijk de *meer/minder*-verdeling de basis vormen voor de input van het model, samen met de veertig opgestelde onderwerpen. Dit biedt binnen de context van het onderzoek en de keuze voor de verdeling van onderwijsdoelen het optimum tussen gebruiksgemak, lage interpretatiegevoeligheid en goed gewogen resultaten.

A.3.2 Proces

Vanuit de *input* worden in het *proces* de onderwerpen gekoppeld worden aan de verdeling van onderwijsdoelen. De mogelijke verdelingen zijn in hoofdstuk twee besproken. Hieronder zal een voorstel toelichten worden om een driedeling van onderwijs accenten te gaan gebruiken voor dit model, mat daarbij wat geringe aanpassingen. Daarna wordt er besproken welk onderwerp onder welke accenten valt. Als laatste wordt de numerieke stap van het model toegelicht.

Gebruikte verdeling onderwijsdoelen

Zoals in paragraaf 2.3 besproken is, zal dit evaluatiemodel gebaseerd worden op een driedeling in onderwijsaccenten. Om precies te zijn wordt als basis de *Driedelige doelstelling van Natuurkunde* gebruikt zoals beschreven in Appendix H. Deze driedelige accent-verdeling is voor dit evaluatiemodel als volgt geformuleerd:

1. **Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs**

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

2. **De Cultuur en Structuur van Wetenschap**

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

3. **Persoonlijke ontwikkeling**

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Hierbij zijn de drie accenten zó verwoord dat de definities van de accenten zo min mogelijk overlappen. Dat betekent dat het eerste accent zich nu specifiek focust op kennis bedoeld ter voorbereiding op het natuurwetenschappelijk vervolgonderwijs. Kennis over de natuurkunde als discipline is daar zeker voor nodig, maar dit behoren leerlingen ook te weten die geen natuurwetenschappelijk vervolgonderwijs gaan volgen. Daarnaast is kennis over natuurkunde als discipline de basis om de *cultuur en structuur* hieromheen te begrijpen. Het ligt dan ook voor de hand om dat deze kennis te scharen onder het tweede accent.

Verder zit er enkele overlap tussen het tweede en derde accent met betrekking tot toepassingen van de wetenschap. Neem de toepassing van de computer. Enerzijds is deze kennis relevant in het ondersteunen in het dagelijks leven rondom het gebruik, kopen en de werking van computers. Anderzijds draagt deze toepassing aan het besef van de leerling dat wetenschappelijk onderzoek rondom elektrische systemen heeft bijgedragen tot het ontwikkeling van de computer. Daarmee leert de leerling iets van de structuur en cultuur van wetenschap. Het verschil zit hier in wat de leerling geacht wordt hiermee te kunnen. Om dit onderscheid duidelijker te maken zit er variatie in de veertig onderwerpen. Ook

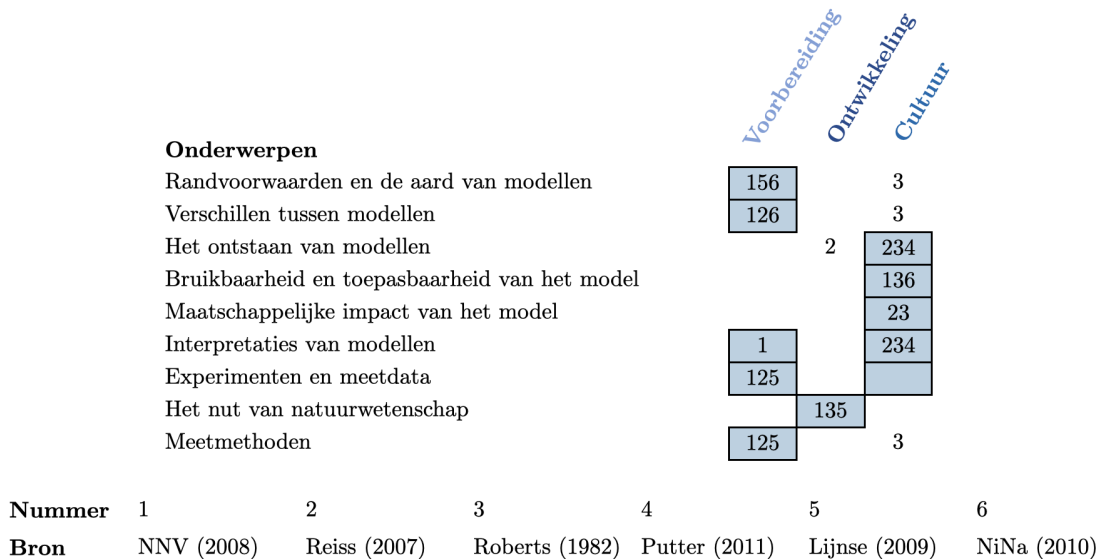
worden sommige onderwerpen onder twee accenten geschaard zoals in de volgende paragraaf besproken wordt.

Als laatste kan men zich afvragen of bijna elk onderwerp niet onder *persoonlijke ontwikkeling* past. In dit geval wordt het accent *persoonlijke ontwikkeling* dan ook wat pragmatisch gebruikt. Dus kennis die niet specifiek bijdraagt aan het eerste of tweede accent kan, wanneer het voldoet aan de verwoording, onder accent drie geplaatst worden. Daarmee richt het derde accent dat zich meer op basiskennis en vaardigheden zoals we in de gebruikte literatuur ook tegenkomen. Er zijn bij bepaalde onderwerpen wel overlap te vinden, deze zullen in de volgende paragraaf meer worden toegelicht.

Nu zou het ook mogelijk zijn om een nieuwe verdeling te maken, maar dit verhoogt de kans op een vruchtbaar model niet. De hoeveelheid nieuwe verdelingen en termen zullen het moeilijk maken om dat nieuwe model in de huidige onderwijspraktijk te laten landen. Op lange termijn zou dat zeker mogelijk moeten zijn, maar binnen de reikwijdte van dit onderzoek is dat niet gewenst. Er is er dus voor gekozen om de accenten, met name de eerste, iets specifieker te definiëren. Maar het zal blijken dat deze denkstap eenvoudig te maken is.

Koppeling Onderwerpen en Onderwijsdoelen

De koppeling van de onderwerpen met accenten van onderwijsdoelen is als eerst gemaakt op basis van de geciteerde literatuur die ook in tabel 2.2 wordt geciteerd. Vervolgens is er ook op eigen inzicht deze verdeling verder uitgewerkt. Per onderwerp is een korte argumentatie verschaft over de gekozen verdeling. Een voorbeeld is hieronder zichtbaar.



Figuur A.2: Koppeling tussen de onderwerpen en de drie accenten van onderwijsdoelen. De zwart omrande blokken is de gemaakte keuze. De getallen staan voor de indeling volgens gebruikte bronnen.

Per onderwerp is gekeken of deze direct of indirect terug te vinden was in een van de zes bronnen die ook in A.3.1 besproken zijn. Vervolgens is bekeken bij welk accent het onderwerp volgens de betreffende bron het best zou passen. Wanneer in de gebruikte bron een andere accent-verdeling hanteert is er gebruik gemaakt van de toelichtingen in het Handboek Natuurkundedidcatiek [13]. Deze zijn vervolgens weer gebaseerd op eerder

behandelde bronnen [31] [32]. Daarin worden de andere accent-verdelingen aan de driedelige accent-verdeling gekoppeld.

Neem bijvoorbeeld het onderwerp 'Het ontstaan van modellen'. Volgens bron 3, Roberts [49] zou deze vallen onder de door hem genoemde *Structure of Science* en *Self as explainer*. Met behulp van de toelichting uit het Handboek Natuurkundedidcatiek kunnen we deze dus plaatsen onder accent 2: *De Cultuur en Structuur van Wetenschap*. Weer een ander voorbeeld is 'Het nut van natuurwetenschap'. Roberts noemt het nut van deze kennis bijvoorbeeld handig bij het aanschaffen van een product en plaatst 'Het nut van wetenschap' dus onder *Everyday Coping*. Volgens de verdeling uit Handboek Natuurkundedidcatiek past *Everyday Coping* het beste bij accent 3: *Persoonlijke Ontwikkeling*. Op deze manier is het gelukt om vanuit zes bronnen een trend zichtbaar te maken hoe vanuit de literatuur de koppeling wordt gemaakt tussen de veertig onderwerpen en de gekozen accent-verdeling hierboven.

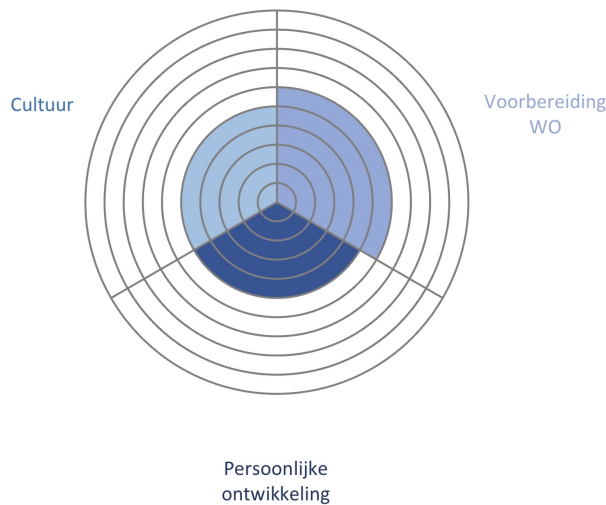
In vrijwel alle gevallen is de keuze voor de verdeling dus gebaseerd op de trend vanuit de literatuur. Er zijn een aantal afwijkingen. Kijkend naar het totaal is er bij de voorgestelde verdeling acht keer afgeweken van een bepaalde bron binnen de literatuur. Zes daarvan vallen onder een verschil in interpretatie met Bron 2 (Reis) en Bron 3 (Roberts). Hierboven zijn daar ook drie voorbeelden van te zien. Dit is te verklaren omdat de modellen van Reis en Roberts zelf een andere verdeling hebben. Om de onderwerpen van Reis en Roberts in deze verdeling te categoriseren is gebruik gemaakt van toelichtingen uit het boek Handboek Natuurkundedidcatiek [13] maar dit blijft een benadering. Daarnaast is het inhoudelijk ook speling rondom de reikwijdte en bewoording van het model van Robert zoals ook andere bronnen wordt aangegeven [31] [32]. Op één plek is er voor gekozen om bij de cultuur een koppeling toe te voegen met experimenten en meetdata. De praktische kant van experimenten (opzet, nauwkeurigheid, bewijzen enzovoorts) zijn essentieel om de structuur en cultuur van wetenschap in kaart te brengen. Daarnaast zijn experimenten daar didactisch ook erg aantrekkelijk voor dit doel. De gehele lijst is met bondige toelichting per onderwerp te vinden in Appendix B.

Numerieke verwerking

Wanneer de gebruiker bij een bepaald onderwerp kiest voor de 'meer'-optie wordt de score van het gekoppelde onderwijsaccent verhoogt met 1. Na het invullen van de vragenlijst heeft elk van de drie onderwijsaccenten een bepaalde totaal score. Deze wordt vervolgens genormaliseerd voor de hoeveelheid punten die per accent behaald kunnen worden. Het accent *Vorbereiding* kan namelijk een hogere score krijgen dan het accent *Cultuur* of *Ontwikkeling*. Dit komt door de gekozen verdeling die hiervoor is uitgewerkt in deze paragraaf. De score van het accent *Vorbereiding* wordt dus met een grotere waarde genormaliseerd dan het accent *cultuur*. Wat overblijft is een getal tussen 0 en 1 per accent (te vergelijken met 0% of 1 100%). Hierbij betekent het getal 0 dat er op geen enkele manier aan het specifieke onderwijsdoel wordt gewerkt. Een score van 1 betekent dat er binnen de gekozen onderwerpen maximaal wordt gewerkt aan het bijbehorende onderwijsdoel. Deze drie getallen worden vervolgens als *output* verwerkt.

A.3.3 Output

Dit evaluatiemodel biedt in de output geen interpretatie wat een score van 0.8 of 0.6 in de praktijk betekent. Het is de bedoeling dat de gebruiker er door het evaluatiemodel bijvoorbeeld achter komt dat hij meer aandacht besteedt aan de *Cultuur van Wetenschap* (met bijvoorbeeld een score van 0.6) dan *Vorbereiding voor het WO* (met een score van 0.5 bijvoorbeeld). Om dit inzichtelijk te maken is output van het model verwerkt in een driedelige windroos. De score van het *proces* wordt omgezet in een eindscore tussen 0 tot 10. Een score van 0.573 geeft bijvoorbeeld een eindscore van 6. Deze score wordt in de windroos als vakken gesymboliseerd. Een voorbeeld van de eindscore is hieronder weergegeven.



Figuur A.3: Driedelige windroos als visuele output van het evaluatiemodel.

De output heeft ook een tekstuele output. Het model vergelijkt de score met andere onderdelen in de onderwijspraktijk (zoals beleidsdocumenten, het examen of de syllabus). De score van deze documenten zijn op voorhand vanuit het ontwerp al in het model ingevoerd en zijn geproduceerd door het model aan de hand van de betreffende document zelf in de vullen. Op basis daarvan helpt het model zichzelf ook interpreteren en geeft het concrete suggesties voor de gebruiker. Hiermee wordt onder andere voldaan aan de tweede, vierde en de vijfde eis rondom een krachtige analyse in het programma van eisen. De antwoorden met suggesties die het evaluatiemodel geeft zijn vooraf ingevoerd in het programma tijdens de ontwikkeling van het evaluatiemodel. Het programma kiest afhankelijk van de score uit één van de twee standaard antwoorden.

Aandachtspunten		
Vorbereiding	Ontwikkeling	Cultuur
De Syllabus besteedt meer aandacht aan voorbereiding op het wetenschappelijk onderwijs. Probeer te kijken of je meer vakbegrippen en het kwantiserende karakter rondom quantummechanica aanbod kan laten komen.	De Syllabus besteedt minder aandacht aan de algemene ontwikkeling van leerlingen. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven.	De Syllabus besteedt minder aandacht aan de cultuur van en rondom wetenschap. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven.

Figuur A.4: Driedelig commentaar als tekstuele output van het evaluatiemodel.

A.4 Ontwerprealisatie

De hierboven genoemde ontwerpkeuzes komen samen in de volgende ontwerprealisatie. Het ontwerp is in essentie een simpel Microsoft Excel bestand. Dit is op vrijwel elke computer van een doorsnee docent te openen, gelet op het programma van eisen. Hieronder worden bondig de stappen doorgelopen die een gebruiker van het model ook zal doorlopen.

Wanneer de gebruiker het model.xls opent is het eerste werkblad zichtbaar. Hier wordt kort de opzet van dit evaluatiemodel uitgelegd met de daarbij horende accentverdeling van onderwijsdoelen. Hoewel de verdeling bij veel docenten bekend is zal dit niet bij iedere docent het geval zijn. Dit is een geringe instructie zodat het model op zijn minst zelfvoorzienend is in uitleg. Zo is het bestand voor een docent ook gemakkelijk door te sturen naar een collega.

Doelstellingen Quantumonderwijs

Evaluatiemodel

v.1.2

Dit evaluatiemodel brengt in kaart welke onderwijsdoelen er het meeste ruimte krijgen binnen een onderdeel in de onderwijspraktijk. Denk hierbij aan toetsen, lessenseries, methodes, werkvormen en opdrachten. Onderwijsdoelen leggen eigenlijk uit *waarom* we een bepaald onderwerp onderwijzen. Deze onderwijsdoelen zijn voor natuurkunde samengevat in drie accenten:

Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

De Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

Persoonlijke ontwikkeling

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Voor dit model vul je een vragenlijst in waar je bij verschillende onderwerpen aangeeft of deze in *meer of mindere* mate voorkomen in jouw lessenserie rondom het domein Quantumwereld. Vervolgens wordt dit resultaat vergeleken met andere onderdelen in de onderwijspraktijk zoals het centraal examen, de syllabus en het Nieuwe Natuurkunde adviesrapport (NiNa). Met deze vergelijking en wat aandachtspunten kan dit model je helpen om jouw quantumonderwijs te evalueren.

Evaluatieformulier | Doelstellingen Quantumonderwijs

Onderdeel: *[voorbeeld - lessenserie]*

v.1.2

Geef aan (met '1') in hoeverre de volgende onderdelen aanbod komen:

	Minder	Meer
Randvoorwaarden en de aard van modellen		1
Verschillen tussen modellen		1
Het ontstaan van modellen		1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model		1
Maatschappelijke impact van het model	1	
Interpretaties van modellen		1
Experimenten en meetdata		1
Het nut van natuurwetenschap	1	
Meetmethoden		1
Verbazing en verwondering		
Kennis over het vak Natuurkunde		1
Oriëntatie op natuurwetenschappen		1
Natuurwetenschappelijke werkwijze		1
Algemene toepassingen	1	
Wetenschappelijke toepassingen	1	
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	
Ontstaan van de behandelde kennis		1
Motiverend karakter		1
Concepten uit het dagelijks leven	1	
Samenhang met andere bètavakken		1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie		1
Basisformalismen over het onderwerp		1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde		1
Verwevenheid met Wiskunde	1	
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	1	
Maatschappelijke opbrengst	1	
Historische aspect van natuurkunde		1
Culturele aspecten van natuurkunde		1
Aandacht voor beroepspraktijk		1
Gezondheid en veiligheid		1

Figuur A.5: Links: Werkblad 1 - Introductie. Rechts: Werkblad 2 - Vragenlijst

Op het tweede werkblad zijn de veertig onderwerpen zichtbaar. De gebruiker vult als eerste de naam het onderdeel in dat geanalyseerd wordt. Vervolgens wordt er per onderwerp aangegeven of dat onderwerp in meer of mindere mate ruimte krijgt binnen het onderdeel dat geëvalueerd wordt. Stel de gebruiker wil een practicum ontwikkelen dat meer inspeelt op de cultuur van wetenschap kan de docent aan de hand van de practicumomschrijving deze vragenlijst invullen.

Vervolgens zijn op het derde en vierde werkblad de binnenkant van het model te zien. Op het derde werkblad zien we de verdeling tussen onderwerpen en accenten en op het vierde werkblad zijn de scores en de numerieke stappen te zien. Het is mogelijk om deze af te schermen voor de gebruiker om de gebruikerservaring van het model simpel te houden. Voor gebruikers die hier langere tijd mee bezig willen gaan kan dit echter inzicht bieden.

aandacht te geven aan het ontstaan van bepaalde quantumtheorieën of ruimte bieden om verschillende toepassingen bij langs te gaan. Op deze manier kan een docent zijn curriculum, lessenserie en werkvormen beter afstemmen op de wensen die de docent hiermee heeft.

A.5 Testronde

Om te controleren in hoeverre dit voorstel voldoet aan de gestelde eisen is de validiteit van dit model geverifieerd. Daarnaast is bekeken in hoeverre de betrouwbaarheid van het model afhangt van verschillende interpretaties. De belangrijkste aspecten hiervan waren met name de gevoeligheid voor verschillende interpretaties tijdens het invullen van het model en de gebruikerservaring. In de hoofdstuk 6 wordt er verder ingegaan op de effectiviteit van het model.

A.5.1 Opzet

Om in kaart te brengen wat de invloed van verschillende interpretaties is op de werking en betrouwbaarheid het model is de volgende evaluatieronde opgezet. Tien respondenten bekend in het natuurkunde onderwijs (studenten, student-assistenten en docenten), vullen het model in aan de hand een Quantumwereld-paragraaf uit een bepaald leerboek dat op voorhand is aangeleverd. Hierdoor moeten verschillende respondenten vanuit dezelfde situatie het evaluatiemodel invullen.

De resultaten van de respondenten worden met elkaar vergeleken. Maar ook de uitkomst van het model met de antwoorden van de respondenten. op deze manier kan er inzicht verkregen worden op welke vakken er interpretatieverschillen optreden en wat hun invloed op het gebruik van het model is.

A.5.2 Proces en Vragenlijst

Het gehele evolutieproces zal uitgevoerd worden in één Excel-bestand waar het evaluatiemodel in verwerkt is. Afbeeldingen van het bestand zijn te vinden in de volgende paragraaf. Ter inleiding krijgt de respondent een werkblad met een korte instructie en een inleiding op de onderwijsdoelen. Vervolgens krijgen de respondenten de opdracht om één paragraaf van een quantummechanica-hoofdstuk van een vooraf aangeleverd leerboek door te lezen. Vervolgens vullen ze de eerste vragenlijst in:

1. Welke rol heb je binnen het onderwijsproces?
2. Heb je de bijgevoegde paragraaf [Paragraaf Leerboek] doorgenomen?
3. Wat zou volgens jou inzicht de reden(en) zijn waarom leerlingen dit moeten leren? Deze redenen worden ook wel onderwijsdoelen genoemd.
4. We kunnen onderwijsdoelen ook verdelen in drie accenten zoals in de pagina hiervoor is gedaan. Welke accenten krijgen in deze paragraaf het meeste ruimte? Zet de drie accenten op volgorde van veel ruimte naar weinig ruimte.
5. Zou jij van mening zijn dat er bepaalde onderwerpen of accenten in deze paragraaf missen of te weinig ruimte krijgen? Zo ja, welke?

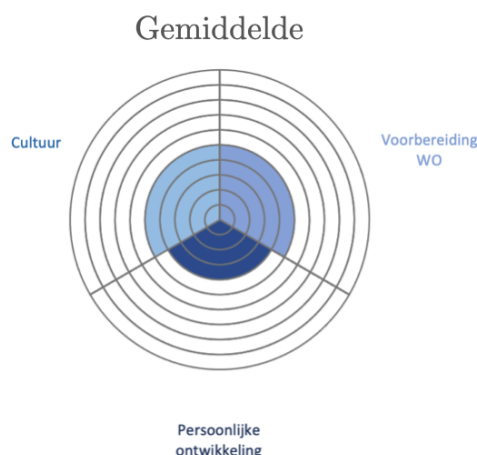
Vervolgens vult de respondent het evaluatiemodel in aan de hand van de aangeleverde paragraaf. Nadat de respondent de resultaten heeft bekeken wordt het tweede gedeelte van de vragenlijst ingevuld. Deze staat op het laatste werkblad.

6. Ontbreken er volgens jou onderwerpen in de input van het evaluatiemodel?
7. Zijn er onderwerpen die volgens jou onduidelijk geformuleerd zijn?
8. Kwam er uit het evaluatiemodel een andere rangorde in onderwijsaccenten? Zo ja, heb je daar een verklaring voor?
9. Als je de het resultaat vergelijkt met de syllabus, wat valt je dan op?
10. Het model heeft ook tekstueel commentaar. Hebben de suggesties die daar genoemd worden nut voor de besproken paragraaf?
11. Ben je van mening dat het inzicht dat het model biedt in combinatie met het commentaar een positief effect kan hebben op de onderwijspraktijk? Licht je antwoord toe.

Ge gebruiker slaat het Excel-bestand op deelt deze vervolgens.

A.5.3 Resultaten

De belangrijkste resultaten van de testronde worden in deze paragraaf doorgenomen. In figuur A.8 staat het gemiddelde van de resultaten van negen respondenten R1 tot R9. In figuur A.9 zijn de afzonderlijke resultaten van de respondenten te zien. Daarbij staat vermeld of het resultaat 'zoals verwacht' was met de volgorde die de respondent bij vraag 4 moet aangeven. Daarnaast wordt in figuur A.9 vermeld of het afzonderlijke resultaat 'in lijn met het gemiddelde' is. Daarmee wordt gekeken of het afzonderlijke resultaat dezelfde rangschikking heeft als het gemiddelde. Wat opvalt bij het gemiddelde resultaat is een zwaartepunt dat tussen *Vorbereiding WO* en *Cultuur* inzit en in ieder geval niet gelokaliseerd is op het accent *Persoonlijke Ontwikkeling*. Het verschil tussen *Vorbereiding WO* en *Cultuur* is verwaarloosbaar en ook niet in het visuele resultaat terug te zien. Dit ligt in lijn met de afzonderlijke resultaten. Bij alle respondenten is namelijk een zwaartepunt op *Vorbereiding WO* óf *Cultuur* te zien. Op dit aspect slaagt het evaluatiemodel er in om dit in de resultaten te laten terugkomen. Een zwaartepunt rond *Vorbereiding WO* óf *Cultuur* is te herleiden in de paragraaf die met name wisselt tussen historische informatie en begrippen die relevant zijn voor de vervolgstudie.



Figuur A.8: Het gemiddelde resultaat uit de testronde van het evaluatiemodel.

De resultaten van de gebruikers laten een zekere spreiding zien. Vier van de negen respondenten (R3, R6, R7 en R8) wijken sterker af van het gemiddelde. De oorzaak hiervan zijn verschillen in interpretatie rondom de begrippen 'meer' en 'minder' of de onderwerpen die in de input van het model genoemd worden. Dit soort interpretatieverschillen zijn te verwachten. Dit zien we al ook terug wanneer de respondenten voordat ze het model invullen moeten aangeven welke onderwijsaccenten meer aandacht gegeven wordt (vraag 4). De respondenten denken hier verschillend over. Dus een verschil in resultaat heeft niet alleen met evaluatiemodel te maken, maar in eerste instantie met verschil in observaties door de respondenten. Respondent R4 geeft bijvoorbeeld aan: *Zowel de voorbereiding voor natuurwetenschappelijk onderwijs als de cultuur en structuur van de Wetenschap komen ongeveer evenveel aan bod.*

4. Welke accenten krijgen in deze paragraaf het meeste ruimte?

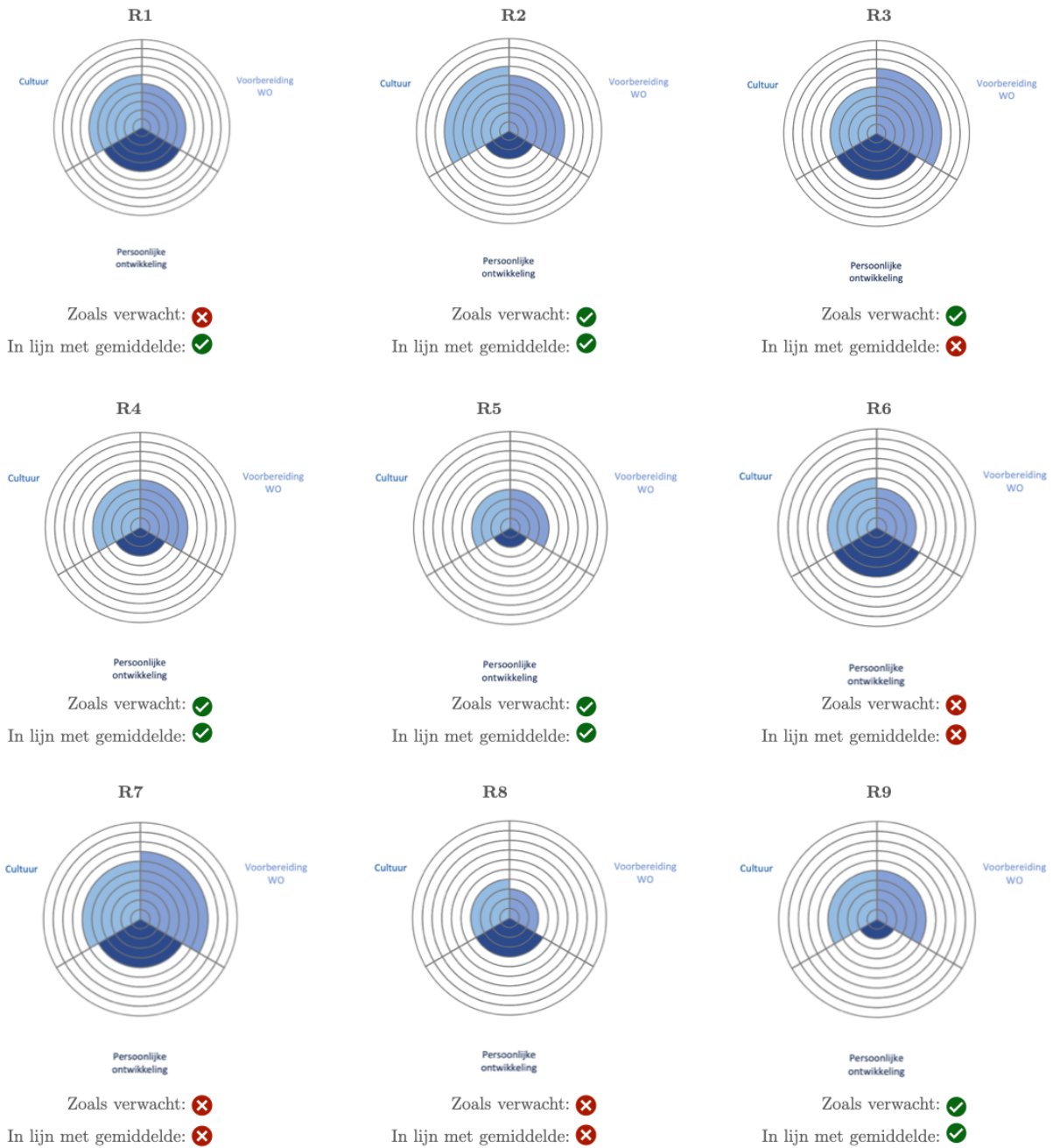
Respondenten: R1, R3, R6

1. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs
2. De Cultuur en Structuur van Wetenschap
3. Persoonlijke ontwikkeling

Respondenten: R2, R4, R5, R7, R8, R9

1. De Cultuur en Structuur van Wetenschap
2. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs
3. Persoonlijke ontwikkeling

Het resultaat van R3 lag niet in lijn met het gemiddelde, maar kwam wel overeen met wat de respondent vooraf verwachtte. In dit geval zal het gaan om een verschil in interpretatie rondom de geformuleerde onderwerpen ten opzichte van de groep respondenten. Dit verschil in interpretatie is vergelijkbaar bij gebruikelijke lesobservaties. Ook daar kunnen verschillende meningen ontstaan over de ruimte die een docent aan een bepaald onderwijsdoel besteedt. Hierbij maak het uit hoe effectief de observator impliciete stofoverdracht inschat. Ook de behandelde paragraaf heeft implicaties op het behandelde onderwerp zonder dat expliciet te noemen. De paragraaf laat bijvoorbeeld indirect zien hoe lang het in de natuurwetenschap kan duren voordat een theorie experimenteel bevestigd wordt en hoeveel verschillende mensen hieraan werken. Deze constatering wordt



Figuur A.9: Afzonderlijke resultaten uit de testronde met het evaluatiemodel.

echter niet expliciet gedaan. Sommige respondenten vinden dit bijdragen aan 'Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken' en anderen niet. Dergelijke verschillen in interpretatie zullen altijd impact hebben op verschillende interpretaties van het model. Toch zal dat grotendeels geen probleem opleveren. Dit model heeft als doel kenbaar te maken aan welke onderwijsdoelen het meest uiting gegeven wordt. Op losse onderwerpen kunnen daar verschillen over zijn. Toch geven acht van de negen respondenten aan dat ze de onderwerpen duidelijk geformuleerd vonden.

Ook de resultaten van respondenten R6, R7 en R8 lagen niet in lijn met het gemiddelde. Daarnaast gaf het evaluatiemodel bij hen een andere uitkomst dan door hen was ingeschat (vraag 4). De respondenten reflecteren daar zelf als volgt op. Respondent R6:

Ja, voorbereiden op wetenschappelijk onderwijs kwam bij mij [in het resultaat] als laatst aan bod. Het daadwerkelijk opdoen van bepaalde onderzoeksvaardigheden gebeurt niet door het boek te lezen en opgaven te maken, maar door zelf te experimenteren. Dat komt niet aan bod hier. De respondent R6 heeft dan ook onderwerpen als 'Randvoorwaarden en de aard van modellen', 'Verbazing en verwondering', 'Specifieke vaktermen voor vervolgstudie' niet als 'meer' aangeduid, in tegenstelling tot de meerderheid van de respondenten (zie figuur A.10). Respondent R8 reflecteert als volgt op het verschil: *Persoonlijke ontwikkeling kwam op een hogere plek dan voorbereiding natuurwetenschappelijk onderzoek. Dit komt waarschijnlijk omdat leerlingen tijdens het maken van de opdrachten in het boek leren zelfstandig problemen op te lossen en begrippen leren te verwoorden. Dit is zeker ook nuttig in het dagelijks leven. Tijdens het invullen van vragenlijst 1 had ik voornamelijk de tekst van het boek, en niet de opdrachten, in mijn achterhoofd. In de tekst in het boek wordt niet veel verwezen naar toepassingen in het dagelijks leven.* Ook hier is daarbij terug te zien dat volgens de meerderheid ook in de opdrachten wel 'Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model', 'Verklarend vermogen van natuurkunde' en 'Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie' ruimte krijgen en daarmee bijdragen aan meer gewicht bij *Vorbereitung WO*. Hiermee is te zien dat het model een reflecterende werking heeft op de gebruiker. Bijvoorbeeld het nut van opgaven als het gaat om het invullen van onderwijsdoelen en niet alleen als formatief middel. Respondent R7 zag ook dat *Vorbereitung WO* en *Cultuur* dicht bij elkaar lagen: *Ik vond ze [WO en Cultuur] eigenlijk redelijk dicht bij elkaar liggen en het heeft ook te maken met het verschillen tussen wat ik zelf dacht dat er onder voorbereiding en cultuur viel en wat er bij de resultaten als uitleg staat.* De gebruiker heeft hier vermoedelijk door de tekstuele opmerkingen het idee gekregen dat er buiten de suggesties geen andere onderwerpen kunnen bijdragen aan de onderwijsdoelen. Dit zal vragen om een kleine herformulering in de tekstuele commentaren.

Bij Respondent R1 kwam er ook een andere rangorde uit dan de respondent verwacht had, hoewel deze uitkomst meer in lijn lag met het gemiddelde. De respondent R1 reflecteert zelf op de volgende manier hierover: *Ja, er kwam een andere rangorde uit. Dit kan eraan liggen dat ik misschien streng ben op het feit hoeveel iets wordt behandeld in een paragraaf. Of misschien ligt het aan het feit dat ik de betekenis meer/minder verkeerd heb geïnterpreteerd en daardoor het model niet op een optimale manier heb ingevuld.* Respondent R1 gaf *Vorbereitung WO* aan als zwaartepunt, met daarna aandacht voor *Cultuur* en *Persoonlijke ontwikkeling*. Dit deden respondenten R6 en R8 ook. Dit laat zien dan ook in de initiële beoordelingen verschillen zitten in perceptie of de behandelde paragraaf meer aandacht aan *Cultuur* of *Persoonlijke Ontwikkeling* geeft. Zoals ook het gemiddelde laat zien liggen deze in de behandelde paragraaf vermoedelijk dicht bij elkaar. Daarnaast zal er een verschil in inzicht blijven over de exacte verdeling.

Op de volgende pagina's is de input op het evaluatiemodel van alle respondenten te zien. Wanneer er minder dan 67% van de respondenten hetzelfde antwoord hebben aangegeven is de kleur van de totaalscore rood gemarkeerd. Het verschil in antwoorden kan zoals hierboven besproken komen door een verschil in inzicht (zoals ook bij andere antwoorden te zien is), maar ook door onduidelijkheid van de onderwerpen. Acht van de negen respondenten gaven aan dat de onderwerpen duidelijk en volledig geformuleerd waren. Bij het merendeel van de onderwerpen zien we dat er eenduidig geantwoord wordt hoewel dit in sommige gevallen door verschillende respondenten is gebeurd. In het onderste blok met

tien onderwerpen komen wat meer onderwerpen aan bod rondom persoonlijke ontwikkeling. Dit zijn ook onderwerpen die minder expliciet in de gemiddelde natuurkunde les benoemd worden. Het is daarmee ook lastig om ze voor sommige mensen te herkennen. Ook daarin laat het evaluatiemodel zien dat ook deze paragraaf bijdraagt aan het verder ontwikkelen van onderzoeksvaardigheden. Om inzicht te krijgen in de potentie en impact van het evaluatiemodel zijn de vragen 10 en 11 in de vragenlijst meegenomen. De volledige antwoorden van de respondenten zijn in de volgende pagina's opgenomen. Hoewel er dus lichte verschuivingen in resultaten te zien zijn, is het evaluatiemodel wel in staat om volgens de respondenten nuttige feedback te leveren. Dit is terug te zien in de antwoorden van vragen 10 en 11. Het tekstuele commentaar is nu automatisch gegenereerd en heeft twee versies, afhankelijk of een accent hoger of lager scoort in vergelijking met een te vergelijken onderdeel. In theorie zou het mooier zijn om ook suggesties te geven op onderdelen die de gebruiker als 'minder' heeft ingevuld. Ook laten de respondenten in hun antwoorden weten dat men het als nuttig ervaart om de invulling aan onderwijsdoelen (zie bijvoorbeeld de antwoorden van respondenten R3, R5 of R8).

BIJLAGE A. ONTWERPCYCLUS EVALUATIEMODEL

		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
Randvoorwaarden en de aard van modellen	6	1		1	1			1	1	1
Verschillen tussen modellen	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Het ontstaan van modellen	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	5	1	1				1	1		1
Maatschappelijke context van het model	4	1	1				1		1	
Interpretaties van modellen	6		1	1	1	1		1		1
Experimenten en meetdata	0									
Het nut van natuurwetenschap	2			1				1		
Meetmethoden	1			1						
Verbazing en verwondering	7	1	1	1	1	1		1		1
Kennis over het vak Natuurkunde	8	1	1	1	1		1	1	1	1
Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken	4	1		1			1	1		
Natuurwetenschappelijke werkwijze	8	1	1	1		1	1	1	1	1
Algemene toepassingen	0									
Wetenschappelijke toepassingen	4		1	1			1	1		
Verklarend vermogen van natuurkunde	8	1	1	1	1	1	1	1		1
Ontstaan van de behandelde kennis	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Motiverend karakter	3		1		1			1		
Concepten uit het dagelijks leven	0									
Samenhang met andere beta-vakken	1	1								
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	7	1		1	1	1		1	1	1
Basisformalisme over het onderwerp	8	1	1	1	1		1	1	1	1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	8		1	1	1	1	1	1	1	1
Verwevenheid met Wiskunde	8	1	1	1	1		1	1	1	1
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	8	1	1	1	1	1	1	1		1
Maatschappelijke opbrengst	0									
Historische aspect van natuurkunde	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Culturele aspecten van natuurkunde	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Aandacht voor beroepspraktijk	0									
Gezondheid en veiligheid	0									
Technisch ontwerpen	0									
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk	4			1	1			1	1	
Probleemoplossen	4	1		1			1		1	
Kritisch evalueren en analyseren	2		1					1		
Ontwerpen (Algemeen)	0									
Modelleren	2		1	1						
Onderzoeksvaardigheden	0									
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	7	1	1		1	1	1	1	1	
Zelfstandig leren en werken	5	1				1	1	1	1	
Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen	3	1		1			1			

Figuur A.10: Het gemiddelde resultaat uit een testronde met het evaluatiemodel.

10. Het model heeft ook tekstueel commentaar. Hebben de suggesties die daar genoemd worden nut voor de besproken paragraaf?

1. Er staat nu heel duidelijk "Kijk of je andere onderwijsdoelen meer de ruimte kunt geven" bij twee van de kopjes. Mij is in die tekst enigszins onduidelijk wat dan onderwerpen zouden kunnen zijn die geschrapt kunnen worden. Dat is natuurlijk lastig om dat vanuit zo'n model te doen, maar misschien kun je in die tekst suggesties geven voor punten die sowieso in de paragraaf moeten voorkomen, en welke optioneel zijn?
2. Bij de syllabus is het zeker nuttig. Het NiNa rapport scoort op alle onderwerpen sterker dan het model, dus daar gaat het verschil tussen de accenten wat verloren (kort door de bocht: "besteed overal meer aandacht aan"). Dit kan ook liggen aan hoe ik het model heb ingevuld, natuurlijk.
3. Ja. Vooral het meer aandacht spenderen aan de cultuur rondom de wetenschap lijkt mij zeer belangrijk. Door een duidelijke achtergrond in kaart te brengen en eventueel belangrijke, natuurkundige uitvindingen/doorbraken op een tijdlijn te zetten, zullen leerlingen wellicht meer gemotiveerd zijn omdat er een stuk meer samenhang heerst tussen de verschillende onderwerpen en het eventuele vervolgonderwijs.
4. Ja, ik kan me voorstellen dat het lastig is om de grip op de realiteit in het oog te houden wanneer leerlingen met quantum bezig gaan. Misschien is het de moeite waard om in de introductie van de paragraaf ook aan te geven waarom quantum zo fundamenteel is voor het WO, en wat sommige toepassingen er van zijn. Zo wordt de stof niet alleen in historisch perspectief gezet, maar ook in een huidig-maatschappelijk perspectief.
5. Het lijkt alsof de verdeling in deze paragraaf een stuk meer overeenkomt met de door NiNa gewenste verdeling.
6. Het is fijn dat het tekstuele commentaar bij NiNa meer handvatten geeft over hoe je het beter zou kunnen doen, het is concreter dan wat er bij Syllabus staat.
7. Ja dat denk ik wel, kan mij wel redelijk vinden in het commentaar.
8. Ik denk wel! Natuurlijk moet je de suggesties zelf toepassen op het onderwerp. De suggesties zijn algemeen, maar het bieden zeker inspiratie. Concrete voorbeelden van hoe je een accent bij het onderwerp quantum naar de voorgrond kan brengen, zouden ook een nuttige toevoeging zijn.
9. Ja, maar dan moet je niet de opgaven uit het boek bij deze paragraaf laten maken. Je zult dan een eigen serie vraagstukken moeten ontwerpen.

11. Ben je van mening dat het inzicht dat het model biedt in combinatie met het commentaar een positief effect kan hebben op de onderwijspraktijk?

1. Ik ben natuurlijk niet heel erg bekend met de onderwijspraktijk. Maar ik denk dat zo'n schematisch overzicht in ieder geval heel duidelijk inzicht biedt in de onderwerpen die aan bod komen en dat veel concreter maakt dan je 'op het blote oog' kunt beoordelen.
2. Jazeker! Ik denk dat het model een mooie tool is om inzicht te krijgen in wat voor accenten er naar voren komen. Zeker in abstracte onderwerpen zoals quantummechanica kan er denk ik veel moeite gestopt worden in de wiskundige kant begrijpelijk maken, terwijl de cultuur en geschiedenis dan vergeten wordt.
3. Ja. Met behulp van het inzicht in de leerdoelen en verdeling van aandachtspunten zal een docent meer gebruik kunnen maken van verschillende soorten van uitleggen. Ook zullen de schrijvers van de leerboeken de verhoudingen tussen de aandachtspunten beter kunnen inzien en naar behoren verdelen.
4. Ja, ik denk dat door dit model vrij makkelijk ontdekt kan worden wat de sterk en zwak behandelde leerdoelen in bepaalde paragrafen, hoofdstukken etc zijn. Hierdoor kan gekeken worden of de geschreven tekst ook daadwerkelijk de aspecten behandelt die verwacht worden van een syllabus voor het VO.
5. Ik denk dat het goed is om als docent (of curriculum maker) na te denken waarom bepaalde onderwerpen gedoceerd moeten worden en wat de visie is van natuuronderwijs in het voortgezet onderwijs. Natuuronderwijs moet veel verder gaan dan alleen kennis verwerven en 'sometjes kunnen oplossen', iets wat ondersteund wordt door het NiNa-advies.
6. Het zou kunnen helpen om helder te krijgen waar bepaalde paragrafen misschien te kort schieten. In combinatie met de teksten bij Nina voegt het wel wat toe.
7. Ja dat denk ik wel, het laat wel goed zien welke aspecten al goed aan bod komen en welke aspecten naar gekeken kan worden of die op een manier meer toegevoegd kunnen worden, met in het achterhoofd houden wat je doel is. Maar dan wel zien als informatie om mee te nemen en niet gewoon direct toepassen, omdat het soms dus niet nuttig is voor het doel dat je wilt bereiken.
8. Ja! Het is belangrijk om te testen of je lesmateriaal voldoet aan de leerdoelen die zijn opgesteld. Het model is een mooie manier om dit te testen. Zo weet je wat er toegevoegd of verwijderd moet worden om het lesmateriaal te verbeteren. Het is nuttig dat er vervolgens voorbeelden worden gegeven ter inspiratie. Wel denk ik dat je er voor moet kunnen kiezen om in bepaalde paragrafen/hoofdstukken een accent minder aan bod te laten komen. Het is niet haalbaar om alle accenten elke paragraaf terug te laten komen. Het ene onderwerp leent zich ook beter voor een bepaald accent dan het andere. Maar d.m.v. het gebruik van het model kun je er voor zorgen dat dit een bewuste keuze is.
9. Nogmaals, ik vind deze paragraaf een draak door de opgaven. Ik zou een volgende keer dat ik quantum zou geven in vwo 6 heel kritisch willen kijken naar onze methode (we stappen van deze methode af). Ik ben van mening dat de persoonlijke ontwikkeling erg belangrijk is, en dat je daarom wellicht anders om moet gaan met deze leerstof. Hier kan het model wellicht inzicht bieden. Aan de andere kant, ik had zelf al bedacht dat ik het een volgende keer niet op deze wijze wil aanbieden.

A.5.4 Conclusies en vervolgstappen

Als we naar de verschillen in resultaten kijken kunnen er een aantal zaken geconcludeerd worden. Hoewel het model probeert een gestructureerde analyse te laten maken, wordt de analyse door verschillende mensen met verschillende interpretaties ingevuld. Dat betekent vooral dat er interpretatieverschillen kunnen zijn over het 'meer' of 'minder' voorkomen van bepaalde onderwerpen. Dit is ook duidelijk in figuur A.10 terug te vinden. Deze gevoeligheid zal in vrijwel elk evaluatiemodel verborgen zitten, net zoals meerdere docenten een observatie van een de zelfde les zouden doen. Wanneer met dit model andere onderdelen in de onderwijspraktijk wordt geanalyseerd zal daarom bij de analyse eenduidig en gestructureerd het model ingevuld moeten worden. Dit zal dan ook voor dit onderzoek gedaan worden en specifiek worden toegelicht bij de resultaten van het onderzoek. Wanneer een docent voor zijn eigen lespraktijk dit doet ligt de impact van het verschil in interpretatie lager. Een docent vult met zijn eigen interpretatie het evaluatiemodel in en gebruikt dezelfde interpretatie om zijn eigen resultaten te analyseren. Tegelijkertijd zijn de verschillende resultaten niet sterk afwijkend. Alle respondenten concludeerden van tevoren gezamenlijk dat het zwaartepunt niet op *Persoonlijke Ontwikkeling* zou liggen maar op *Cultuur* of *Voorbereiding WO*. Dit is ook uit de resultaten van het evaluatiemodel naar voren gekomen. Van de veertig onderwerpen zijn er zeven onderwerpen niet eenduidig ingevuld (minder dan 67 % van de respondenten koos voor hetzelfde). Zoals hierboven is weergegeven kan daarin een verschil in observatie zitten, maar ook een onduidelijke verwoording van het onderwerp. In combinatie met met een aantal suggesties (hoewel gering) zijn daarom een vijftal onderwerpen omgeschreven:

Oud: Maatschappelijke context van het model

Nieuw: Maatschappelijke impact van het model

Oud: Wetenschappelijke toepassingen

Nieuw: Toepassingen in wetenschappelijke context

Oud: Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen

Nieuw: Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit

Oud: Ontwerpen (Algemeen)

Nieuw: Ontwerpvaardigheden

Oud: Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken

Nieuw: Oriëntatie op natuurwetenschappen

Kijkende naar de antwoorden op vraag 10 en 11 kan geconcludeerd worden dat alle respondenten de effectiviteit en het nut van het model inzien. Daarnaast zien de respondenten ook het nut van het evalueren op basis van onderwijsdoelen. Als conclusie is het daarnaast ook goed om te bevestigen dat model niet kijkt of er maximale aandacht voor een bepaald onderwijs accent is, maar waar ten opzichte van *andere* accenten of onderdelen méér aandacht naar uit gaat. Dit model laat zwaartepunten zien en vergelijkt deze. De 'hoeveelheid' streepjes per accent zegt in dit geval minder. Het visuele resultaat doet dit wellicht wel vermoeden. Echter zullen hier in verband met de reikwijdte van dit onderzoek geen aanpassingen meer worden gedaan. In hoofdstuk 6 wordt hier nog kort op gereflecteerd.

A.6 Afbeeldingen Evaluatiemodel

Doelstellingen Quantumonderwijs

Evaluatiemodel

v.1.2

Dit evaluatiemodel brengt in kaart welke onderwijsdoelen er het meeste ruimte krijgen binnen een onderdeel in de onderwijspraktijk. Denk hierbij aan toetsen, lessenseries, methodes, werkvormen en opdrachten. Onderwijsdoelen leggen eigenlijk uit *waarom* we een bepaald onderwerp onderwijzen. Deze onderwijsdoelen zijn voor natuurkunde samengevat in drie accenten:

Vorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs

Kennis ter voorbereiding op natuurwetenschappelijk en technisch vervolgonderwijs.

De Cultuur en Structuur van Wetenschap

Kennis over de structuur en cultuur van wetenschap en de invloed van wetenschap op de samenleving.

Persoonlijke ontwikkeling

Kennis over natuurverschijnselen en onderwerpen die de burger ondersteunen in het dagelijks leven.

Voor dit model vul je een vragenlijst in waar je bij verschillende onderwerpen aangeeft of deze in *meer* of *mindere* mate voorkomen in jouw lessenserie rondom het domein Quantumwereld. Vervolgens wordt dit resultaat vergeleken met andere onderdelen in de onderwijspraktijk zoals het centraal examen, de syllabus en het Nieuwe Natuurkunde adviesrapport (NiNa). Met deze vergelijking en wat aandachtspunten kan dit model je helpen om jouw quantumonderwijs te evalueren.

Evaluatieformulier | Doelstellingen Quantumonderwijs

Onderdeel: [naam]

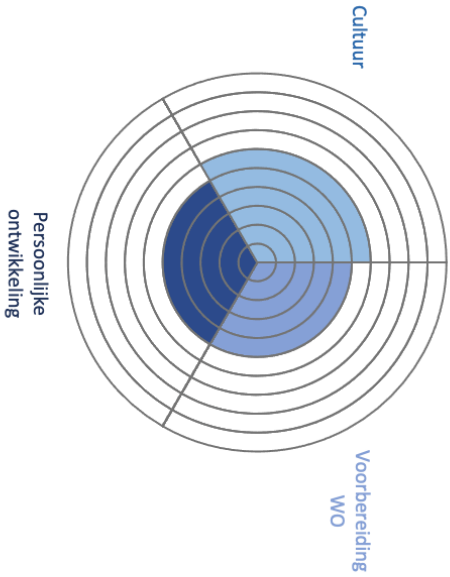
Geef aan (met '1') in hoeverre de volgende onderdelen aanbod komen:

	Minder	Meer
Randvoorwaarden en de aard van modellen		1
Verschillen tussen modellen		1
Het ontstaan van modellen		1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	1	
Maatschappelijke impact van het model	1	
Interpretaties van modellen		1
Experimenten en meetdata	1	
Het nut van natuurwetenschap	1	
Meetmethoden		1
Verbazing en verwondering		1
Kennis over het vak Natuurkunde		1
Oriëntatie op natuurwetenschappen		1
Natuurwetenschappelijke werkwijze	1	
Algemene toepassingen	1	
Wetenschappelijke toepassingen	1	
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	
Ontstaan van de behandelde kennis		1
Motiverend karakter		1
Concepten uit het dagelijks leven		1
Samenhang met andere bètavakken		1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	1	
Basisformalisme over het onderwerp		1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	1	
Verwevenheid met Wiskunde	1	
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie		1
Maatschappelijke opbrengst		1
Historische aspect van natuurkunde		1
Culturele aspecten van natuurkunde		1
Aandacht voor beroepspraktijk	1	
Gezondheid en veiligheid	1	
Technisch ontwerpen	1	
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk		1
Probleemoplossen		1
Kritisch evalueren en analyseren		1
Ontwerpvaardigheden	1	
Modelleren	1	
Onderzoekvaardigheden	1	
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten		1
Zelfstandig leren en werken	1	
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit	1	

Verdeling onderwerpen en onderwijsdoelen

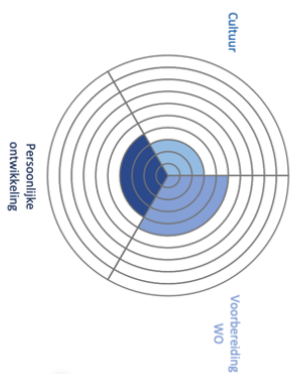
Onderwerpen	Voorbereiding	Ontwikkeling	Cultuur
Randvoorwaarden en de aard van modellen	1		
Verschillen tussen modellen	1		
Het ontstaan van modellen			1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model			1
Maatschappelijke impact van het model			1
Interpretaties van modellen	1		1
Experimenten en meetdata	1		1
Het nut van natuurwetenschap		1	
Meetmethoden	1		
Verbazing en verwondering	1		1
Kennis over het vak Natuurkunde		1	1
Oriëntatie op natuurwetenschappen	1	1	
Natuurwetenschappelijke werkwijze	1		1
Algemene toepassingen		1	1
Wetenschappelijke toepassingen	1		1
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	1	
Ontstaan van de behandelde kennis			1
Motiverend karakter	1		1
Concepten uit het dagelijks leven		1	
Samenhang met andere bètavakken		1	1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	1		
Basisformalisme over het onderwerp		1	
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	1		
Verwevenheid met Wiskunde	1		
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	1		
Maatschappelijke opbrengst			1
Historische aspect van natuurkunde			1
Culturele aspecten van natuurkunde			1
Aandacht voor beroepspraktijk	1		1
Gezondheid en veiligheid		1	
Technisch ontwerpen	1		
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk		1	
Probleemoplossen		1	
Kritisch evalueren en analyseren	1	1	
Ontwerpvaardigheden		1	
Modelleren	1		
Onderzoekvaardigheden	1	1	
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	1	1	
Zelfstandig leren en werken		1	
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit		1	
Totaal	21	17	17

Zwaartepunten [naam]

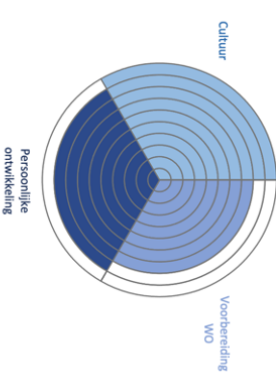


Zwaartepunten Centraal Examen

Gemiddeld over 2016-2019



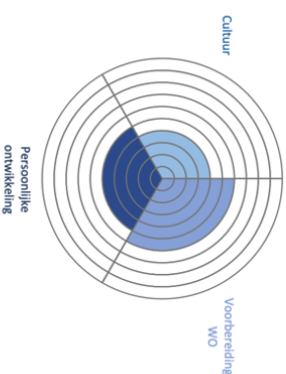
Zwaartepunten Advies NINA*



* Het NINA-rapport is een rapport dat advies uitbracht over het plaatsen quantummechanica in het curriculum. Het rapport behandelde overwegingen waarom quantum in het curriculum zou passen en wat de doelen daarvan zouden zijn.

Zwaartepunten Leerboeken

Sys Nat, Nat Overal, Newton



Aandachtspunten

Voorbereiding	Ontwikkeling	Cultuur
Het Centraal Examen bestaat meer aandacht aan voorbereiding op het wetenschappelijk onderwijs. Probeer te kijken of je meer vakkegrippen en het kwantiserende karakter rondom quantummechanica aanbod kan laten komen. Oefenen met rekenopgaven kunnen hierbij goed helpen.	Het Centraal Examen besteedt minder aandacht aan de algemene ontwikkeling van leerlingen. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven wanneer je meer afstemming zoekt op het Centraal Examen.	Het Centraal Examen besteedt minder aandacht aan de cultuur van en rondom wetenschap. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven wanneer je meer afstemming zoekt op het Centraal Examen.

Aandachtspunten

Voorbereiding	Ontwikkeling	Cultuur
Het NINA-advies besteedt meer aandacht aan voorbereiding op het wetenschappelijk onderwijs. Probeer te kijken of je meer aandacht kan besteden aan de aard en het ontstaan van modellen of het interpreteren van de modellen die je behandelt.	Het NINA-advies besteedt meer aandacht aan de algemene ontwikkeling van leerlingen. Kijk of je meer aandacht kan geven aan algemene vaardigheden in de context van quantum zoals: complexe problemen oplossen in context, het ontwerpen van toepassing of experiment, het simpel verwoorden van de implicaties van quantum op het dagelijks leven.	Het NINA-advies besteedt meer aandacht aan de cultuur van en rondom wetenschap. Kijk of je bepaalde onderwerpen meer kan behandelen zoals: het historische aspect en het ontstaan van de behandelde theorie, algemene toepassingen, de impact van de theorie op de samenleving of een link naar de beroepspraktijk of andere natuurwetenschappelijke

Aandachtspunten

Voorbereiding	Ontwikkeling	Cultuur
Leerboeken besteden gemiddeld meer aandacht aan voorbereiding op het wetenschappelijk onderwijs. Probeer te kijken of je meer vakkegrippen en het kwantiserende karakter rondom quantummechanica aanbod kan laten komen. Kijk of experimenten en het aflezen en werwerken van meedata meer aandacht kunnen krijgen.	Leerboeken besteden gemiddeld minder aandacht aan de algemene ontwikkeling van leerlingen. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven wanneer je meer afstemming zoekt op leerboeken.	Leerboeken besteden gemiddeld minder aandacht aan de cultuur van en rondom wetenschap. Kijk of je andere onderwijsdoelen meer ruimte kan geven wanneer je meer afstemming zoekt op leerboeken.

BIJLAGE B

Koppeling Onderwerpen, Literatuur en Onderwijsaccenten

Onderwerpen	CVN [30]	Reiss [48]	Roberts [49]	Putter [32]	Lijnse [18]	NiNa [2]
Randvoorwaarden van modellen	1		1		1	
Verschillen tussen modellen	1		1		1	
Het ontstaan en de aard van modellen	1	1	1	1	1	1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model			1	1		1
Context van het model		1	1			1
Interepataties van modellen		1	1	1		1
Experimenten en meetdata	1	1			1	1
Het nut van natuurwetenschap	1				1	1
Meetmethoden	1	1	1		1	
Verbazing en verwondering				1		1
Kennis over het vak Natuurkunde	1	1	1	1	1	1
Orientatie op Natuurwetenschappelijke vakken		1				1
Natuurwetenschappelijke werkwijze	1	1	1	1	1	1
Algemene toepassingen	1	1	1	1	1	1
Wetenschappelijke toepassingen		1	1			1
Verklarend vermogen van natuurkunde	1		1	1	1	1
Onstaan van de behandelde kennis	1	1	1	1	1	1
Motiverend karakter						1
Concepten uit het dagelijks leven	1	1	1	1	1	1

BIJLAGE B. KOPPELING ONDERWERPEN, LITERATUUR EN
ONDERWIJSACCENTEN

Onderwerpen	CVN [30]	Reiss [48]	Roberts [49]	Putter [32]	Lijnse [18]	NiNa [2]
Samenhang met andere beta-vakken						1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	1	1	1	1	1	
Basisformalisme over het onderwerp			1	1		1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde						1
Verwevenheid met Wiskunde	1				1	1
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	1	1	1	1	1	1
Maatschappelijke opbrengst	1	1	1	1	1	1
Historische aspect van natuurkunde	1	1		1	1	1
Culturele aspecten van natuurkunde	1	1	1	1	1	1
Aandacht voor beroepspraktijk		1				1
Gezondheid, veiligheid	1		1	1	1	
Technisch ontwerpen	1				1	1
Het leren toepassen van kennis in de praktijk	1	1	1	1	1	1
Probleemoplossen	1		1		1	1
Kritisch evalueren en analyseren	1	1	1	1	1	
Ontwerpen (Algemeen)						1
Modelleren	1				1	
Onderzoeksvaardigheden	1		1		1	1
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten		1	1	1		
Zelfstandig leren en werken						1
Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen				1		1

BIJLAGE B. KOPPELING ONDERWERPEN, LITERATUUR EN ONDERWIJSACCENTEN

Onderwerpen	Voorbereiding			Onderwijskeuzing			Cultuur			Toelichting
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	
Randvoorwaarden en de aard van modellen	156								3	Essentieel onderdeel in het WO.
Verschillen tussen modellen	126								3	Essentieel onderdeel in het WO. Inhoudelijk te specifiek voor Cultuur rondom wetenschap.
Het ontstaan van modellen				2					234	In lijn met literatuur. Heeft in het dagelijks leven minder invloed op de ontwikkeling van de persoon zelf.
Bruikbaarheid en toepasbaarheid van het model									136	In lijn met literatuur. Toepasbaarheid geeft inzicht in de kracht van modellen en daarmee de structuur van wetenschap.
Maatschappelijke impact van het model									23	Specifieke kennis ter voorbereiding op wetenschappelijk onderwijs. Verder is de context hieromheen een basis voor de werking van wetenschap.
Interpretaties van modellen	1								234	Specifieke kennis ter voorbereiding op wetenschappelijk onderwijs. Verder is de context hieromheen een basis voor de werking van wetenschap.
Experimenten en meetdata	125									Essentieel onderdeel in het WO. (Basis)kennis over uitgevoerde experimenten is ecnetieel om cultuur en structuur van wetenschap te snappen.
Het nut van natuurwetenschap								135		Essentieel onderdeel in het WO. Het is van belang dat een leerling inziet dat natuurkunde een nuttig vak is voor persoonlijke ontwikkeling en de samenleving.
Meetmethoden	125								3	Essentieel onderdeel in het WO. Inhoudelijk te specifiek voor Cultuur rondom wetenschap.
Verbazing en verwondering	1								34	In lijn met literatuur. Kennis maken met verwonderende passie van wetenschappers valt ook onder voorbereiding voor WO.
Kennis over het vak Natuurkunde								3	1245	In lijn met literatuur. Essentieel in de gehele breedte van de onderwijsdoelen. Onderdeel wordt veel in de literatuur genoemd.
Oriëntatie op natuurwetenschappen	1								1	In lijn met literatuur. Oriëntatie op het vak is een basis voor en algemene ontwikkeling. Een leerling moet kunnen uitleggen wat natuurkunde is.
Natuurwetenschappelijke werkwijze	145								23	In lijn met literatuur. Werkwijze is in essentie niet meer nodig in het dagelijks leven.
Algemene toepassingen									234	In lijn met literatuur. Brengt impact en dus cultuur rondom wetenschap in kaart. Biedt een basis om te kunnen functioneren in de samenleving.
Wetenschappelijke toepassingen	3								2	In lijn met literatuur. Toepassingen op wetenschappelijk gebied (tunnelingmicroscop bijvoorbeeld) zijn te specifiek voor algemene ontwikkeling.
Verklarend vermogen van natuurkunde	25	36								In lijn met literatuur.
Ontstaan van de behandelde kennis									234	In lijn met de literatuur. Niet direct relevant voor de vervolgstudie, wel cultureel relevant voor de cultuur en historie van wetenschap.
Motiverend karakter	1								1	Motiverend voor vervolgstudie, maar ook voor de discipline (cultuur) aanzicht.
Concepten uit het dagelijks leven									1345	In lijn met de literatuur. Dit tegenwoordigt de leefwereld en de toepasbaarheid van natuurkunde daarop.

Nummer	1	2	3	4	5	6
Bron	NNV (2008)	Reiss (2007)	Roberts (1982)	Putter (2011)	Lijnse (2009)	NiNa (2010)

Onderwerpen	Voorbereiding			Onderwijskeuzing			Cultuur			Toelichting	
	1	2	3	4	5	6	1	2	3		
Samenhang met andere bètavakken									1	1	In lijn met literatuur.
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	12345										In lijn met literatuur.
Basisformalisme over het onderwerp									35		In lijn met literatuur.
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	16										In lijn met literatuur.
Verwevenheid met Wiskunde	16										In lijn met literatuur.
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	12345										In lijn met literatuur.
Maatschappelijke opbrengst									3	1245	Geeft niet direct effect op dagelijks leven. Geeft meer inzicht in de natuurwetenschappelijke structuur.
Historische aspect van natuurkunde										1245	In lijn met literatuur.
Culturele aspecten van natuurkunde										12345	In lijn met literatuur.
Aandacht voor beroepspraktijk	1								2	12345	In lijn met literatuur. Beroepspraktijk brengt de impact (en dus structuur) van wetenschap in kaart.
Gezondheid en veiligheid										1345	In lijn met literatuur.
Technisch ontwerpen	16										In lijn met literatuur.
Het leren toepassen van kennis in de praktijk										12345	In lijn met literatuur.
Probleemoplossen	16									135	In lijn met literatuur.
Kritisch evalueren en analyseren	16									2345	In lijn met literatuur.
Ontwerpvaardigheden										16	In lijn met literatuur.
Modelleren	16										In lijn met literatuur.
Onderzoeksvaardigheden	16									4	In lijn met literatuur.
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	1									45	In lijn met literatuur.
Zelfstandig leren en werken										1	In lijn met literatuur.
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit										14	In lijn met literatuur.

Nummer	1	2	3	4	5	6
Bron	NNV (2008)	Reiss (2007)	Roberts (1982)	Putter (2011)	Lijnse (2009)	NiNa (2010)

BIJLAGE C

Data NiNa-advies

Algemene Opmerkingen

Maatschappelijke ontwikkelingen sturen de vraag naar breed georiënteerd natuurkundeonderwijs (p.8, p.35).

De vernieuwing moet erop gericht zijn het natuurkundeonderwijs voor leerlingen te profileren met het oog op vervolgonderwijs en beroepspraktijk (p.8).

Samenhang bètavakken (p.10, p.46).

Meer aandacht voor beroepen en nut van toepassingen van de natuurwetenschappen in het voortgezet onderwijs gewenst (p.10).

Leerlingen inzicht geven in de fysieke werkelijkheid om hen heen en daarvoor noodzakelijke sleutelinzichten en -vaardigheden tot ontwikkeling brengen (p.10).

Inzicht in de manier waarop natuurwetenschappelijke kennis tot stand komt in onderzoek en hoe de betrouwbaarheid van deze kennis beoordeeld kan worden (p.10).

Kennis verwerven over de begrippen en principes die gebruikt worden in de vakdiscipline (learning science) (p.10, p.85).

Methoden die gebruikt worden bij het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek (doing science) (p.10, p.85).

Inzicht hebben in vragen die te maken hebben met de aard en betekenis van wetenschap (learning about science) (p.10, p.85).

Verbinding met de toepassing van natuurwetenschappelijke kennis in contexten die duidelijk maken waar natuurwetenschap toe dient en wat de maatschappelijke opbrengst is (p.11).

Verwerven en toepassen van vakkennis (p.11)

Kennis over natuurwetenschappen en de methoden van de wetenschap, in contexten die duidelijk maken waar natuurwetenschap over gaat, toe dient en wat de maatschappelijke opbrengst is (p.11).

Motiverend en gevarieerd aanbod om een beeld te geven van de praktijk van de natuurkunde in onderzoek, beroep en maatschappij (p.12).

Naast aandacht voor kennis van leerlingen ook ruim aandacht te geven aan de ontwikkeling van wetenschappelijke en technische vaardigheden (p.12)

Inzicht krijgen in de manier hoe wetenschap werkt en hoe wetenschappelijke verklaringen tot stand komen (p.12).

Vaardigheden in het kennisdomein Onderzoek en ontwerp (p.13).

Zorgen voor meer leerlingen en studenten in het bètatechnisch hoger onderwijs (p.36).

Competenties in bèta en techniek zijn voor iedereen van belang. Een zekere bagage aan bètatechnische kennis en vaardigheden is voor alle burgers noodzakelijk om in de huidige technologische samenleving de weg te vinden (p.36).

Het natuurkundecurriculum moet daarom inspelen op de natuurlijke nieuwsgierigheid van jongeren naar het hoe en waarom (p.36).

Het maken van ontwerpen en de studie naar voorwaarden voor succesvolle ontwerpen vormen voor veel jongeren een drijfveer die kan concurreren met de nieuwsgierigheid naar hoe de natuur in elkaar zit. Leren langs de weg van het maken van ontwerpen kan bovendien valide bijdragen leveren aan inzicht in de natuurkunde zelf. (p.36).

Deze leerlingen zouden graag zien dat op school wordt uitgelegd wat je concreet kunt doen met de kennis die je opdoet bij bètavakken. Een veel gehoorde klacht is een gebrek aan actualiteit en praktijk van het onderwijs. (p.37)

Oplossen van belangrijke vragen die gerelateerd zijn aan actuele maatschappelijke problemen (p. 37).

In het licht van dit brede beroepsperspectief en het maatschappelijk belang daarvan is het essentieel dat natuurkundigen affiniteit hebben met andere maatschappelijke aspecten en factoren dan alleen de vakdiscipline (p.38).

Inhoud van het onderwijs moet ruimte bieden aan de fascinatie en nieuwsgierigheid van de leerlingen en aan verschillen tussen leerlingen daarin (p.41).

Natuurkunde moet een beeld geven van de basisprincipes en -begrippen van het natuurwetenschappelijk denken en de natuurwetenschappelijke methode. (p.45)

Natuurkunde moet een beeld geven van de opleidingen en beroepen waartoe de N-profielen toegang geven. (p.45)

Natuurkunde moet een beeld geven van de functie van natuurwetenschap en techniek in de hedendaagse maatschappij en de wisselwerking tussen onderzoek en toepassing. (p.45)

Met het oog op de contextconceptbenadering is scherper aangegeven dat het doel van het natuurkundeonderwijs vooral is: het verwerven van een natuurwetenschappelijke denkwijze en van inzicht in natuurkundige concepten, het ervaren van natuurkunde als experimentele wetenschap. De rol van contexten is vooral het duidelijk maken van de brede toepasbaarheid van concepten, en te laten zien in welke gebieden van onderzoek en technologie de actuele natuurkunde actief is. (p.54).

Afstemming en samenhang tussen de vakken natuur- en wiskunde (p.110).

Opmerkingen Quantumwereld

De kandidaat kan in contexten de golf-deeltjedualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de quantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model. (p.32)

Voor beide onderwerpen (Relativiteit en Quantumwereld) wordt gevraagd om voorbeelden van toepassingen in de leefwereld. (p.62)

In de contextgebieden bij domeinen (waaronder Quantumwereld) kunnen leerlingen een beeld krijgen van de ontwikkeling en toepassing van natuurkundige kennis op velerlei gebied. Ook het maatschappelijke werkveld van natuurkundigen wordt zichtbaar gemaakt. (p.89)

Quantumwereld biedt ook het inzicht dat de abstracte quantumeigenschappen van de materie talloze zeer praktische toepassingen kennen. (p.90)

In dit domein komt aan de orde hoe dit uitgangspunt heeft geleid tot de quantumtheorie voor atomaire en subatomaire verschijnselen, maar ook tot allerlei alledaagse maatschappelijke toepassingen. Leerlingen kunnen door demonstratie-experimenten en modelstudies hun kennis verdiepen. (p.91)

De alom aanwezige praktische context die wordt gedemonstreerd door de talloze toepassingen. (P.104)

Daarmee heeft de quantumfysica tevens een hechte relatie met de biomedische wetenschap en praktijk. (p.105)

Belangrijk dat vwo-leerlingen zich realiseren dat de quantummechanica de fundamentele beschrijving is van licht en materie op de allerkleinste schaal. Dat gaat samen met vreemde aspecten zoals de golf-deeltje-dualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg. Niemand begrijpt de quantummechanica maar iedereen kan die toepassen. Dit is voor veel vwo-leerlingen een intrigerende combinatie. (P.105)

Praktische context van toepassingen als digitale camera's, lasers, elektronenmicroscopen, etc.; daarnaast quantummechanica als fundamentele beschrijving van licht en materie met aspecten als golf-deeltje-dualiteit, onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg. (p.106)

Onderwerpen	Totaal	Score	Quantumwereld	Score
Randvoorwaarden en de aard van modellen	5	1	3	1
Verschillen tussen modellen	1	0	1	0
Het ontstaan van modellen	2	1	1	0
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	16	1	7	1
Maatschappelijke impact van het model	11	1	2	1
Interpretaties van modellen	6	1	3	1
Experimenten en meetdata	3	1	1	0
Het nut van natuurwetenschap	9	1	1	0
Meetmethoden	3	1	0	0
Verbazing en verwondering	6	1	2	1
Kennis over het vak Natuurkunde	7	1	1	0
Oriëntatie op natuurwetenschappen	12	1	1	0
Natuurwetenschappelijke werkwijze	10	1	1	0
Algemene toepassingen	14	1	5	1
Wetenschappelijke toepassingen	8	1	4	1
Verklarend vermogen van natuurkunde	6	1	1	0
Ontstaan van de behandelde kennis	4	1	1	0
Motiverend karakter	6	1	1	0
Concepten uit het dagelijks leven	8	1	1	0
		0		
Samenhang met andere bètavakken	2	1	1	0
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	3	1	1	0
Basisformalisme over het onderwerp	5	1	2	1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	1	0	1	0
Verwevenheid met Wiskunde	1	0	0	0
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	9	1	2	1
Maatschappelijke opbrengst	15	1	4	1
Historische aspect van natuurkunde	4	1	1	0
Culturele aspecten van natuurkunde	4	1	1	0
Aandacht voor beroepspraktijk	9	1	2	1
Gezondheid en veiligheid	2	2	0	0
Technisch ontwerpen	1	0	0	0
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk	10	1	1	0
Probleemoplossen	4	1	1	0
Kritisch evalueren en analyseren	7	1	1	0
Ontwerpvaardigheden	4	1	0	0
Modelleren	2	1	0	0
Onderzoeksvaardigheden	5	1	0	0
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	2	1	1	0
Zelfstandig leren en werken	1	0	0	0
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit	1	0	0	0

Figuur C.1: Score uit het NiNa-rapport in het geheel en de score uit citaten die alleen in de context met Quantumwereld genoemd zijn.

Geef aan (met '1') in hoeverre de volgende onderdelen aanbod komen:

	Minder	Meer
Randvoorwaarden en de aard van modellen		
Verschillen tussen modellen		
Het ontstaan van modellen		
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model		1
Maatschappelijke impact van het model		
Interpretaties van modellen		1
Experimenten en meetdata		1
Het meten van natuurwetenschap		
Meetmethoden		
Verbazing en verwondering		
Kennis over het vak Natuurkunde		
Oriëntatie op natuurwetenschappen		
Natuurwetenschappelijke werkwijze		
Algemene toepassingen		
Wetenschappelijke toepassingen		1
Verklarend vermogen van natuurkunde		
Ontstaan van de behandelde kennis		1
Motiverend karakter		
Concepten uit het dagelijks leven		
Samenhang met andere bètavakken		
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie		1
Basisformalismen over het onderwerp		1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde		1
Verwetenheid met Wiskunde		1
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie		1
Maatschappelijke opbrengst		
Historische aspect van natuurkunde		
Culturele aspecten van natuurkunde		
Aandacht voor beroepspraktijk		
Gezondheid en veiligheid		
Technisch ontwerpen		
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk		1
Probleemoplossen		1
Kritisch evalueren en analyseren		1
Ontwerpvaardigheden		
Modelleren		
Onderzoeksvaardigheden		
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten		1
Zelfstandig leren en werken		
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit		

Subdomein F1. Quantumwereld

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de golf-deeltdualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de kwantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. Licht als golfverschijnsel benoemen en dit toelichten,
 - uitleggen in welke situaties buiging van lichtgolven optreedt;
 - een intensiteitspatroon verklaren in termen van constructieve en destructieve interferentie;
2. de golf-deeltdualiteit toepassen bij het verklaren van interferentieverschijnselen bij elektromagnetische straling en bij materiedeeltjes,
 - berekeningen maken met de de Broglie-golflengte;
 - het dubbelspleet-experiment beschrijven en de betekenis ervan uitleggen;
 - vakbegrippen: waarschijnlijkheid, waarschijnlijkheidsverdeling;
 - minimaal in de context: elektronenmicroscopie;
3. het foto-elektrisch effect gebruiken om aan te tonen dat elektromagnetische straling gequantiseerd is,
 - vakbegrippen: foton, uittree-energie, energiequantum;
4. quantumverschijnselen beschrijven in termen van de opsluiting van een deeltje,
 - **inschatten of er quantumverschijnselen zijn te verwachten door de de Broglie-golflengte te vergelijken met de orde van grootte van de opsluiting van het deeltje;**
 - de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen;
 - het quantummodel van het waterstofatoom beschrijven en de mogelijke energieën van het waterstofatoom berekenen;
 - het quantummodel van een deeltje in een één-dimensionale energieput beschrijven en de mogelijke energieën van het deeltje berekenen;
 - vakbegrippen: bohrstraal, nulpuntsenergie;
5. het quantum-tunneleffect beschrijven aan de hand van een eenvoudig model en daarbij aangeven hoe de kans op tunneling afhangt van de massa van het deeltje en de hoogte en breedte van de energie-barrière,
 - minimaal in de contexten: Scanning Tunneling Microscope (STM), alfa-verval.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$p = mv \qquad \lambda = \frac{h}{p}$$

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (in eV)} \qquad E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$$

Figuur C.2: Score Syllabus

BIJLAGE D

Data Centraal Examen

In de pagina's hierna zijn de volgende onderdelen te vinden.

- *Uitwerkingen van de gekozen onderwerpen per vraag van het centraal examen van 2017-I en 2018-II. In het blauw zijn de correctievoorschriften ook bijgevoegd.*
- *Diagrammen van accentverdeling van de Quantumwereld vragen uit de centraal examens van 2016 tot en met 2019.*
- *Scores van de centraal examens van 2016 tot en met 2019 gebaseerd op de Quantumwereld vragen ingevoerd in het evaluatiemodel.*

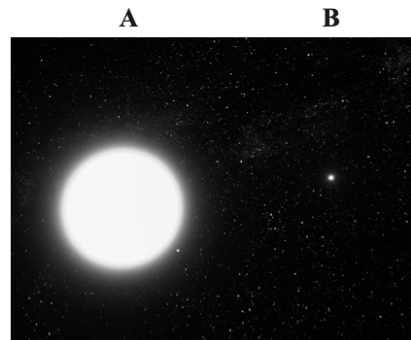
[2017-I]

Sirius B als Quantumsysteem

Uit de beweging van Sirius A, de helderste ster aan de hemel, voorspelde men al in 1844 dat Sirius een dubbelster is. De zwakker stralende begeleider, Sirius B, een witte dwerg, werd in 1862 ontdekt.

In 1914 ontdekte de astronoom Adams dat Sirius B ongeveer zo zwaar is als de zon en ongeveer zo groot is als de aarde.

Het was met de toenmalige stand van de wetenschap niet te begrijpen hoe zo'n object kon bestaan. Het duurde tot de komst van de quantumfysica voordat men begreep waarom zo'n supercompact object niet onder zijn eigen zwaartekracht in elkaar stort. Om dat te verklaren wordt Sirius B in de quantumfysica beschreven als één gigantisch atoom met 10^{57} elektronen!



Het continue emissiespectrum van Sirius B heeft de grootste intensiteit bij $\lambda = 115 \text{ nm}$.

2p 11 Bereken de temperatuur van Sirius B.

11 **maximumscore 2**

uitkomst: $T = 2,52 \cdot 10^4 \text{ K}$

voorbeeld van een berekening:

$$\lambda_{\max} T = k_W \rightarrow 115 \cdot 10^{-9} T = 2,898 \cdot 10^{-3} \rightarrow T = 2,52 \cdot 10^4 \text{ K}.$$

- gebruik van $\lambda_{\max} T = k_W$ 1
- completeren van de berekening 1

- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren

Omdat de elektronen in Sirius B zo dicht op elkaar zitten, is er een vereenvoudigd quantummodel opgesteld: alle elektronen van Sirius B bevinden zich in een één-dimensionale energieput met $L = 5,8 \cdot 10^6$ m.

In dit quantummodel wordt Sirius B dus beschouwd als één gigantisch atoom. Net als bij een gewoon atoom kunnen niet alle elektronen hetzelfde energieniveau bezetten: hoe meer elektronen er zijn, des te meer energieniveaus bezet zijn. Voor het quantumgetal n dat hoort bij het hoogst bezette energieniveau van Sirius B geldt: $n_{\max} = 8,4 \cdot 10^{18}$.

De elektronen zijn in dit model te beschrijven als golven met een de Broglie-golflengte waarvoor de formule geldt: $\lambda_B = \frac{2L}{n}$.

- 4p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- Leid deze formule af.
 - Bereken de minimale de Broglie-golflengte van elektronen in Sirius B.
 - Leg daarmee uit dat Sirius B terecht beschouwd wordt als een quantumstelsel.

14 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

– In de lengte L van de energieput past een geheel aantal halve golflengtes. Dus geldt: $L = n \frac{1}{2} \lambda$. Omschrijven levert de gegeven formule.

– Invullen levert: $\lambda_{B,\min} = \frac{2L}{n_{\max}} = \frac{2 \cdot 5,8 \cdot 10^6}{8,4 \cdot 10^{18}} = 1,4 \cdot 10^{-12}$ m.

– Deze minimale de Broglie-golflengte is in de orde van grootte van de onderlinge afstand $d = 1 \cdot 10^{-12}$ m. (Dus zijn er quantumeffecten door overlap van golven.)

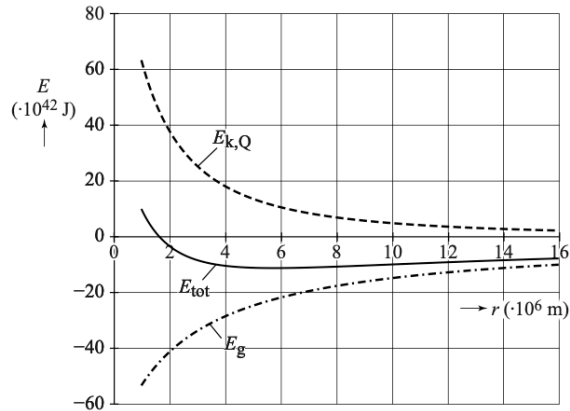
- inzicht dat in de lengte L van de energieput een geheel aantal halve golflengtes past 1
- gebruik van $\lambda_B = \frac{2L}{n}$ met $n = n_{\max}$ 1
- completeren van de berekening 1
- constatering dat de minimale de Broglie-golflengte in de orde van grootte van de onderlinge afstand is 1

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Wetenschappelijke toepassingen
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

Met het quantummodel zijn model-energie-berekeningen gemaakt. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1. Deze figuur staat vergroot weergegeven op de uitwerkbijlage.

$E_{k,Q}$ de quantumfysische kinetische energie. Deze is gelijk aan de som van de elektron-energieën van alle gevulde energieniveaus.
 E_g de gravitatie-energie.
 E_{tot} de totale energie.

figuur 1



Er geldt:

$$E_{tot} = E_g + E_{k,Q}$$

De grootte van Sirius B is met dit quantummodel te bepalen.

- 3p 15 Voer daartoe de volgende opdrachten uit:
- Geef de reden dat de totale quantumfysische kinetische energie $E_{k,Q}$ toeneemt als de straal van Sirius B kleiner wordt.
 - Geef aan wat dit betekent voor een mogelijke ineenstorting van Sirius B.
 - Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de straal van Sirius B die uit dit model volgt.

15 maximumscore 3

voorbeeld van antwoord:

- (Er geldt: $E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$.) De energie van elk niveau en daarmee de som van alle energieën neemt toe als L afneemt.
- Als de ster door de gravitatie-energie E_g zou krimpen, wordt L kleiner en daarmee neemt $E_{k,Q}$ toe. Hierdoor zal de ster zich (steeds meer) verzetten tegen ineenstorting.
- De meest stabiele (evenwichts)situatie zal optreden bij het minimum van de totale energie E_{tot} .
Dit is bij een straal van $6 \cdot 10^6$ m (met een marge van $1 \cdot 10^6$ m).

- inzicht dat de energieën in een energieput toenemen als de afmetingen van de energieput kleiner worden 1
- inzicht dat de ster zich verzet tegen ineenstorting door toenemende $E_{k,Q}$ 1
- aflezen van de straal bij het minimum van E_{tot} 1

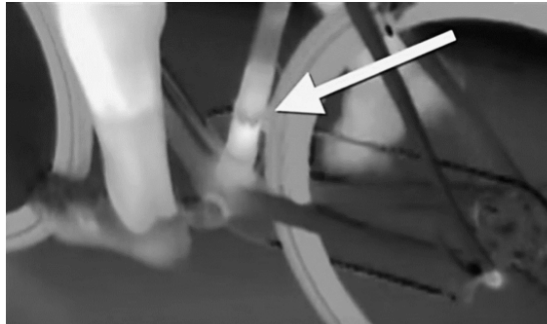
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspect

[2018-II]

Mechanische doping

Om erachter te komen wie gebruikmaakt van deze mechanische doping maakt men tijdens de race met een thermografische camera een opname. Zie figuur 3. Daarin is bij de pijl te zien dat in het frame iets zit dat net zo warm is als de kuit van de wielrenner.

figuur 3



- 3p 2 Leg met behulp van een berekening en met Tabel 19B van Binas of Tabel 5.1.c van Sciencedata uit voor welke soort straling deze camera gevoelig is.

2 maximumscore 3

voorbeeld van een antwoord:

Er geldt: $\lambda_{\max} T = k_w$. De temperatuur van de kuit zal ongeveer 300 K zijn.

Dus geldt voor de maximale golflengte:

$$\lambda_{\max} = \frac{k_w}{T} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{3,0 \cdot 10^2} = 9,7 \cdot 10^{-6} \text{ m.}$$

Dit is infrarood. (Hiervoor is de camera gevoelig.)

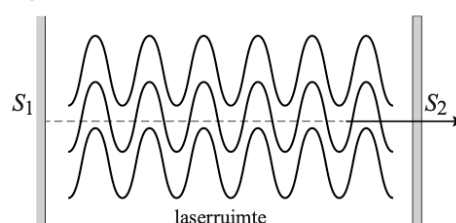
- schatten van de temperatuur tussen 293 K en 315 K 1
- gebruik van de wet van Wien 1
- completeren van de berekening en het antwoord 1

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Algemene toepassingen
- Concepten uit het dagelijks leven
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

Kleurstoflaser

Een laser is een lichtbron die een smalle, evenwijdige en intense lichtbundel produceert. De bundel wordt geproduceerd in de laserruimte, die zich tussen spiegel S_1 en de halfdoorlatende spiegel S_2 bevindt. Zie de artist's impression in figuur 1. In de laserruimte worden heen en weer kaatsende fotonen geproduceerd.

figuur 1



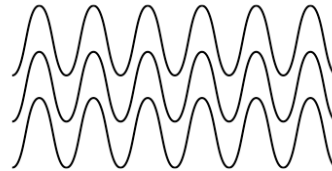
Bij laserwerking ontstaat een lawine van fotonen doordat reeds aanwezige fotonen aangeslagen moleculen dwingen om zelf fotonen uit te zenden. Het oorspronkelijke foton is daarbij identiek aan het geproduceerde foton: ze hebben dezelfde fase en dezelfde golflengte. Hierdoor heeft een laser een hogere intensiteit dan een gewone lichtbron, die fotonen produceert die niet dezelfde fase hebben.

In figuren 2a en 2b zijn een aantal individuele lichtgolven geschetst van respectievelijk een gewone lichtbron en een laser.

figuur 2a



figuur 2b



Ook als de amplitude van de individuele golven gelijk is, is de totale amplitude (en dus de intensiteit) van het laserlicht groter dan die van de gewone lichtbron.

2p 11 Leg uit hoe dit komt aan de hand van de figuren 2a en 2b.

11 maximumscore 2

voorbeeld van een antwoord:

(Alle fotonen in de laserruimte zijn identiek en de individuele golven hebben dus (gereduceerd) faseverschil nul.) Door constructieve interferentie worden de amplitudes bij elkaar opgeteld en wordt de totale amplitude en dus de laserintensiteit groot. Dit is niet zo bij een gewone lichtbron, omdat er zonder een vast faseverschil geen constructieve interferentie optreedt.

- | | |
|---|---|
| • inzicht dat de lichtgolven in figuur 2b in fase zijn | 1 |
| • inzicht dat bij een laser wel en bij een gewone lichtbron geen constructieve interferentie optreedt | 1 |

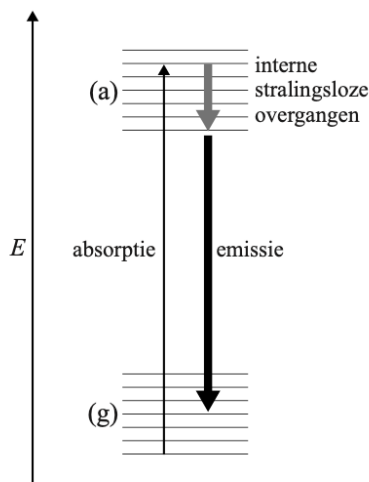
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Algemene toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

Anders dan bij gaslasers zenden vloeistoflasers een breedbandig spectrum van meer golflengtes tegelijk uit. Voor een bepaalde breedbandige vloeistoflaser wordt de kleurstof Rhodamine 6G gebruikt. Bij complexe moleculen als de kleurstof Rhodamine 6G bestaat zowel de grondtoestand (g) als de aangeslagen toestand (a) uit veel zeer dicht op elkaar gelegen energieniveaus. Zie figuur 3a.

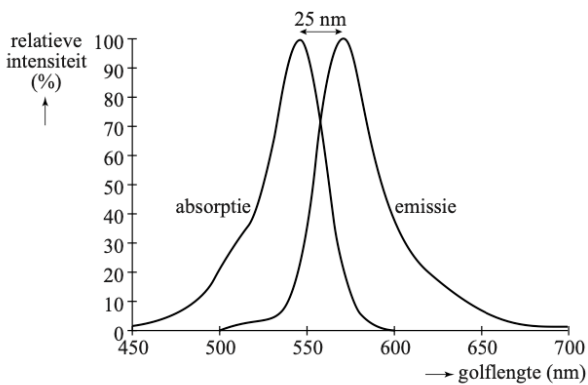
Zo'n stof heeft daardoor geen lijnspectrum maar een bandspectrum. In figuur 3b is links de absorptieband en rechts de emissieband van Rhodamine 6G weergegeven.

Omdat de aangeslagen moleculen eerst een gedeelte van hun energie afgeven in de vorm van warmte (interne stralingsloze overgangen), is in figuur 3b het emissiespectrum naar rechts verschoven ten opzichte van het absorptiespectrum.

figuur 3a



figuur 3b



2p 12 Leg uit waarom het emissiespectrum naar rechts verschoven is.

12 **maximumscore 2**

voorbeeld van een antwoord:

Er geldt: $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$. Bij emissie is ΔE door het (stralingsloze) energieverlies

kleiner geworden ten opzichte van ΔE bij absorptie.

Dat betekent dat λ groter is geworden.

(Dat wil zeggen dat de piek meer naar het rechts verschoven is.)

- inzicht dat ΔE bij emissie kleiner is dan bij absorptie 1
- inzicht dat ΔE omgekeerd evenredig is met λ 1

- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Verwevenheid met Wiskunde
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

Een Rhodamine-6G-molecuul kan men ook beschrijven met een eenvoudig model van een eendimensionale energieput waarin 22 elektronen opgesloten zijn. Hierbij zijn een aantal energieniveaus (n -waarden) steeds gevuld met twee elektronen per niveau. Samen vormt dit de grondtoestand (g).

Als het molecuul door absorptie van een foton aangeslagen wordt, gaat één elektron van de hoogste bezette n -waarde naar de volgende n -waarde.

Dan geldt voor de lengte van de energieput:
$$L = \sqrt{\frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8mc}}$$

Hierin is:

- λ de golflengte die vereist is om het molecuul aan te slaan;
- h de constante van Planck;
- m de massa van een elektron;
- c de lichtsnelheid.

4p 13 Leid deze formule af gebruikmakend van formules uit een tabellenboek.

13 maximumscore 4

voorbeeld van een antwoord:

De grondtoestand heeft 22 elektronen. De hoogste n -waarde is dus:

$$n = \frac{22}{2} = 11. \text{ De laagste onbezette toestand wordt daarmee } n = 12.$$

$$\text{Dus geldt: } \Delta E = E_{12} - E_{11}.$$

$$\text{Voor de energie van een toestand geldt: } E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}.$$

$$\text{Invullen levert: } \Delta E = E_{12} - E_{11} = \frac{(12^2 - 11^2) h^2}{8mL^2}.$$

$$\text{Er geldt: } \Delta E = \frac{hc}{\lambda}.$$

$$\text{Omschrijven levert: } L = \sqrt{\frac{\lambda \cdot (12^2 - 11^2) \cdot h}{8mc}}.$$

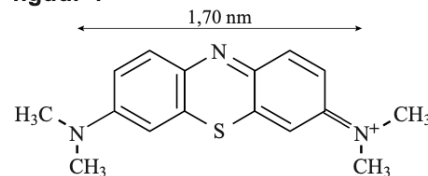
- | | |
|--|---|
| • inzicht dat de absorptie de overgang $n = 11 \rightarrow n = 12$ betreft | 1 |
| • gebruik van $E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$ | 1 |
| • inzicht dat $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$ | 1 |
| • completeren van de afleiding | 1 |

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde

Figuur 4 geeft de structuur van Rhodamine 6G weer. De waarde L komt bij benadering overeen met de waarde in figuur 4.

3p 14 Toon dit aan met een berekening.

figuur 4

**14 maximumscore 3**

voorbeeld van een antwoord:

Aflesen voor de linkerpiek in figuur 3b levert: $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-7}$ m (met een marge van $0,2 \cdot 10^{-7}$ m).

$$\text{Invullen levert: } L = \sqrt{\frac{5,6 \cdot 10^{-7} \cdot 23 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{8 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 3,00 \cdot 10^8}} = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2,0 \text{ nm}.$$

(Dit komt bij benadering overeen met de waarde in figuur 4.)

- | | |
|---|---|
| • inzicht dat $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-7}$ m (met een marge van $0,2 \cdot 10^{-7}$ m) | 1 |
| • gebruik van de formule en opzoeken van m , c en h | 1 |
| • completeren van de berekening | 1 |

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Wetenschappelijke toepassingen
- Samenhang met andere beta-vakken
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen



Figuur D.1: Zwaartepunten accentverdeling centraal examens 2016-2019.

Onderwerpen	Score							
	16-I	16-II	17-I	17-II	18-I	18-II	19-I	19-II
Randvoorwaarden en de aard van modellen	1	0	0	0	1	0	1	0
Verschillen tussen modellen	1	0	0	0	1	0	0	0
Het ontstaan van modellen	0	0	0	0	0	0	0	0
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	1	1	1	1	1	1	1	0
Maatschappelijke impact van het model	0	0	0	0	0	0	0	0
Interpretaties van modellen	1	1	1	1	1	1	1	0
Experimenten en meetdata	1	1	1	1	1	1	0	1
Het nut van natuurwetenschap	0	0	0	1	0	1	0	0
Meetmethoden	0	0	0	0	0	0	0	1
Verbazing en verwondering	0	0	0	0	0	0	0	0
Kennis over het vak Natuurkunde	0	0	0	0	0	0	0	0
Oriëntatie op natuurwetenschappen	0	0	0	0	0	0	0	0
Natuurwetenschappelijke werkwijze	1	0	0	0	1	0	0	1
Algemene toepassingen	1	0	0	1	0	1	0	0
Wetenschappelijke toepassingen	1	1	1	1	1	1	1	1
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	1	1	1	1	1	1	0
Ontstaan van de behandelde kennis	0	0	0	0	0	0	0	0
Motiverend karakter	0	0	0	0	0	0	0	0
Concepten uit het dagelijks leven	1	0	0	0	0	1	1	0
Samenhang met andere bètavakken	0	0	0	0	0	1	1	0
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	1	1	1	1	1	1	1	1
Basisformalisme over het onderwerp	1	1	0	1	1	0	0	0
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	1	1	1	1	1	1	1	1
Verwevenheid met Wiskunde	0	0	1	0	1	1	1	1
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	1	1	1	1	1	1	1	1
Maatschappelijke opbrengst	0	0	0	0	0	0	0	0
Historische aspect van natuurkunde	0	0	0	0	0	0	0	1
Culturele aspecten van natuurkunde	0	0	0	0	1	0	0	0
Aandacht voor beroepspraktijk	0	0	0	0	0	0	0	0
Gezondheid en veiligheid	0	0	0	0	0	0	1	0
Technisch ontwerpen	0	0	0	1	0	0	0	0
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk	1	0	0	1	1	1	1	0
Probleemoplossen	1	1	1	1	0	0	0	1
Kritisch evalueren en analyseren	1	1	1	1	1	1	1	1
Ontwerpvaardigheden	0	0	0	0	0	0	0	0
Modelleren	0	0	0	0	0	0	0	0
Onderzoeksvaardigheden	0	0	0	1	0	0	0	1
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	1	1	1	0	1	1	1	1
Zelfstandig leren en werken	0	0	0	0	0	0	0	0
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit	0	0	0	0	0	0	0	0

Figuur D.2: Scores onderwerpen per centraal examen 2016-2019.

BIJLAGE E

Data Leerboeken

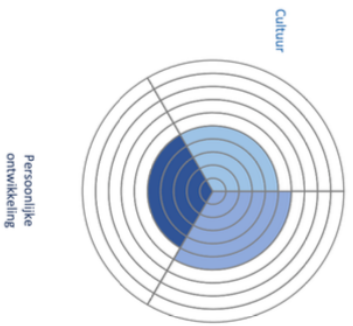
In de pagina's hierna zijn de volgende onderdelen te vinden.

- *Uitwerkingen van de geanalyseerde leerboeken: Systematische Natuurkunde, Newton en Natuurkunde Overal. In het zwart zijn de onderwerpen aangegeven die in de leertekst voorkomen, dus zonder opgave. Extra onderwerpen die alleen door de opgaven ingevuld worden zijn in het blauw weergegeven.*
- *Uitwerkingen van de twee extra geanalyseerde hoofdstukken uit het leerboek Systematische Natuurkunde: Elektriciteit en Geofysica. Ook in dit geval is in het zwart de onderwerpen aangegeven die in de leertekst voorkomen, dus zonder opgave. Extra onderwerpen die alleen door de opgaven ingevuld worden zijn in het blauw weergegeven.*
- *Scores van de geanalyseerde leerboeken: Systematische Natuurkunde, Newton en Natuurkunde Overal zoals ingevoerd in het evaluatiemodel.*
- *Een korte analyse van de twee extra geanalyseerde hoofdstukken uit het leerboek Systematische Natuurkunde: Elektriciteit en Geofysica.*

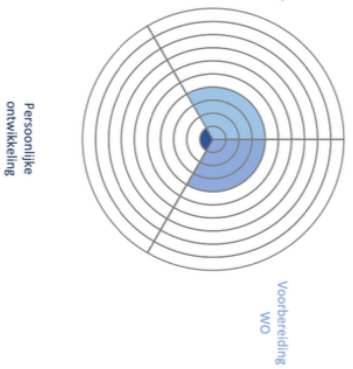
Systematische Natuurkunde

§1

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §1



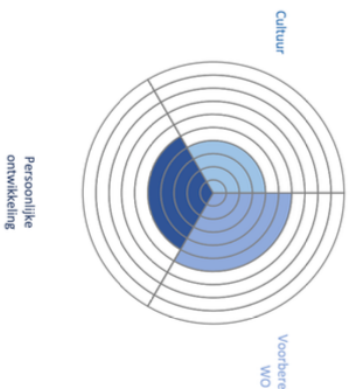
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §1 (Zonder Opgaven)



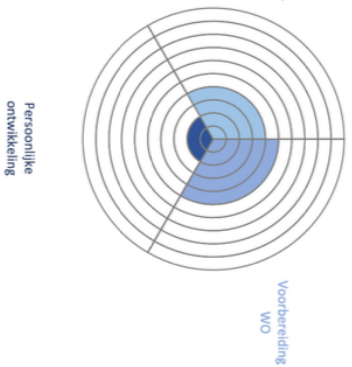
- Verschillen tussen modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Ontwerpen (Algemeen)
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§2

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §2



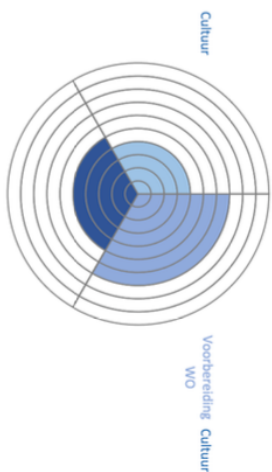
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §2 (Zonder Opgaven)



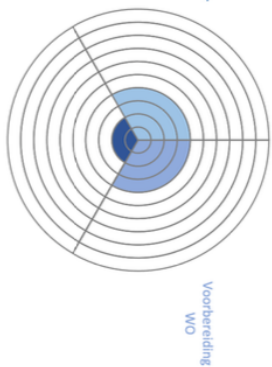
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Verschillen tussen modellen
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§3

Zwaartepunten Natuurkunde Overal §3



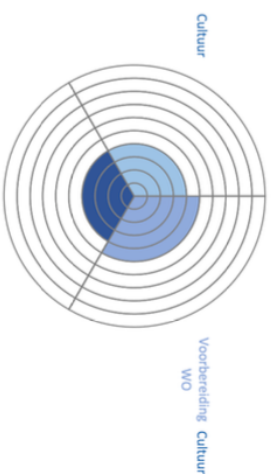
Zwaartepunten Natuurkunde Overal §3 (Zonder Opgaven)



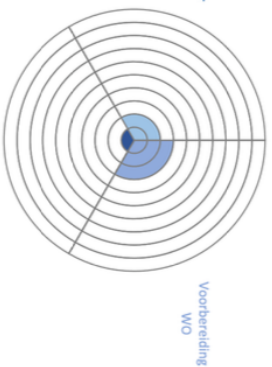
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Verbazing en verwondering
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§4

Zwaartepunten Natuurkunde Overal §4



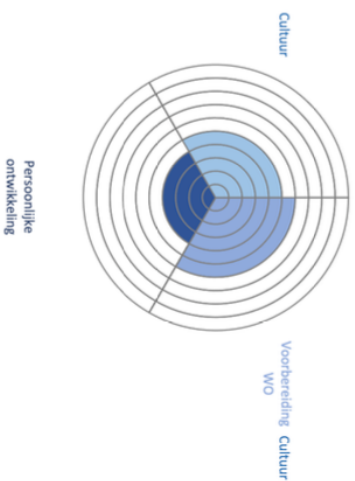
Zwaartepunten Natuurkunde Overal §4 (Zonder Opgaven)



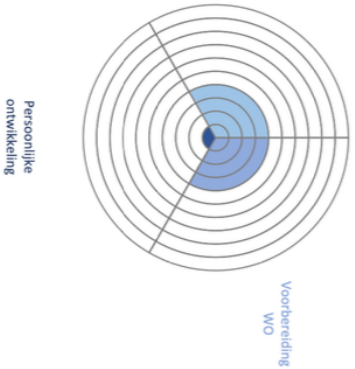
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Samenhang met andere bètavakken
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§5

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §5



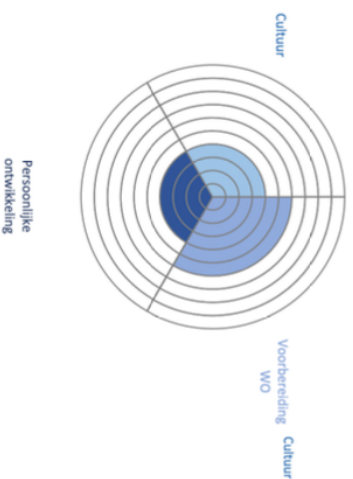
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §5 (Zonder Opgaven)



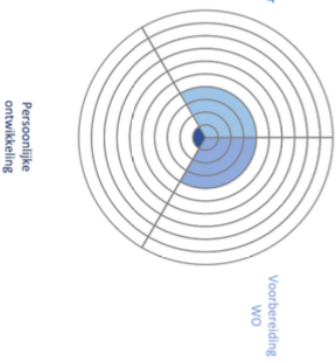
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Verschillen tussen modellen
- Het ontstaan van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Natuurwetenschappelijke werkwijze
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§6

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §6



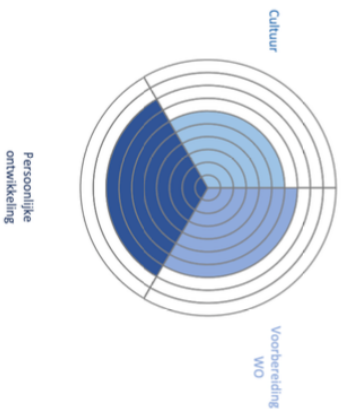
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §6 (Zonder Opgaven)



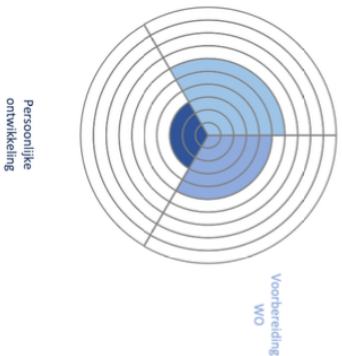
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Ontstaan van de behandelde kennis
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§1

Zwaartepunten Newton §1

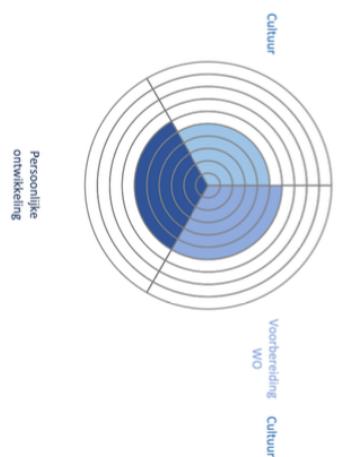


Zwaartepunten Newton §1 (Zonder Opgeven)

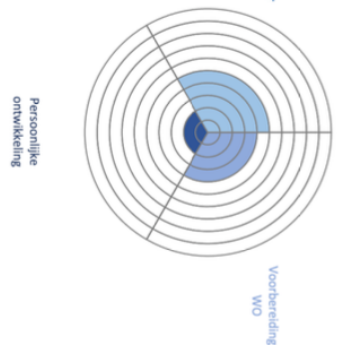


§2

Zwaartepunten Newton §2



Zwaartepunten Newton §2 (Zonder Opgeven)



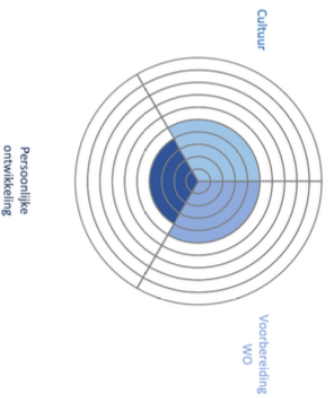
Newton

- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Het ontstaan van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Verbazing en verwondering
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken
- Algemene toepassingen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaard vermogen van natuurkunde
- Ontstaan van de behandelde kennis
- Motiverend karakter
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Ontwerpen (Algemeen)
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

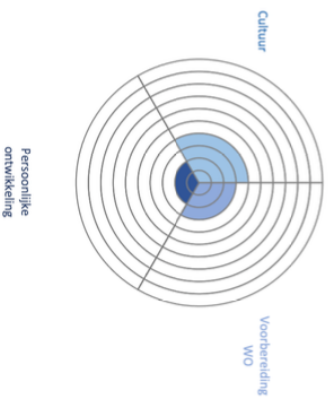
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Verbazing en verwondering
- Algemene toepassingen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaard vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Maatschappelijke opbrengst
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten
- Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen

§3

Zwaartepunten Newton §3



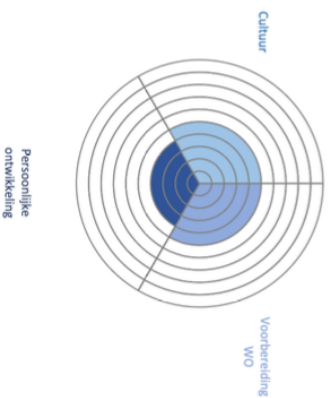
Zwaartepunten Newton §3 (zonder Opgaven)



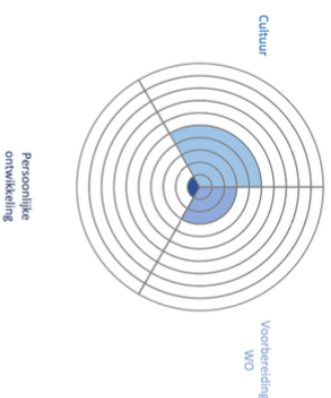
- **Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Maatschappelijke opbrengst
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§4

Zwaartepunten Newton §4



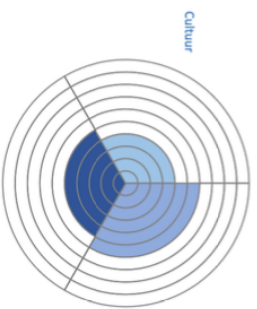
Zwaartepunten Newton §4 (zonder Opgaven)



- **Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Maatschappelijke opbrengst
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

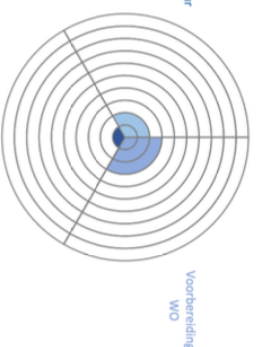
§5

Zwaartepunten Newton §5



Persoonlijke ontwikkeling

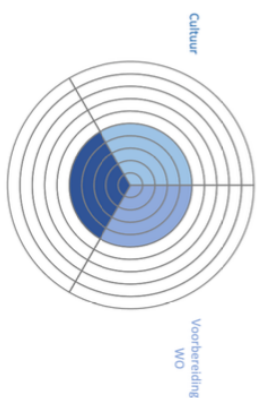
Zwaartepunten Newton §5 (Zonder Opgaven)



Persoonlijke ontwikkeling

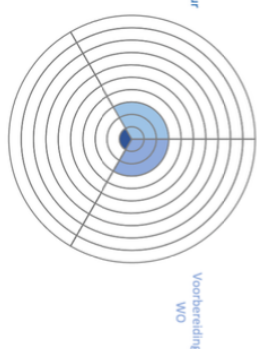
§6

Zwaartepunten Newton §6



Persoonlijke ontwikkeling

Zwaartepunten Newton §6 (Zonder Opgaven)

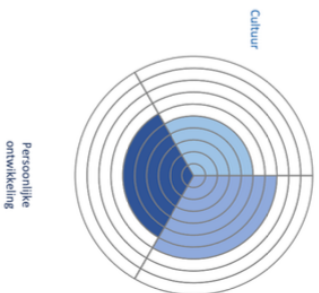


Persoonlijke ontwikkeling

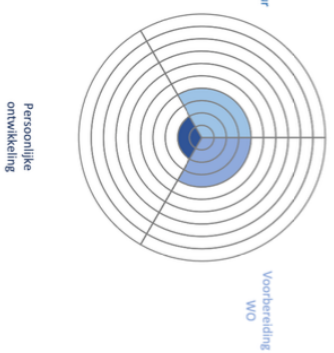
- **Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- **Interpretaties van modellen**
- **Experimenten en meetdata**
- **Natuurwetenschappelijke werkwijze**
- **Wetenschappelijke toepassingen**
- **Verklarend vermogen van natuurkunde**
- **Specifieke vaktermen voor vervolgstudie**
- **Basisformalisme over het onderwerp**
- **Kwantificerende karakter van Natuurkunde**
- **Verwevenheid met Wiskunde**
- **Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie**
- **Culturele aspecten van natuurkunde**
- **Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk**
- **Probleemoplossen**
- **Kritisch evalueren en analyseren**
- **Onderzoeksvaardigheden**
- **Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten**
- **Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen**

- **Randvoorwaarden en de aard van modellen**
- **Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- **Maatschappelijke context van het model**
- **Interpretaties van modellen**
- **Experimenten en meetdata**
- **Kennis over het vak Natuurkunde**
- **Natuurwetenschappelijke werkwijze**
- **Wetenschappelijke toepassingen**
- **Verklarend vermogen van natuurkunde**
- **Specifieke vaktermen voor vervolgstudie**
- **Basisformalisme over het onderwerp**
- **Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie**
- **Historische aspect van natuurkunde**
- **Culturele aspecten van natuurkunde**
- **Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk**
- **Kritisch evalueren en analyseren**
- **Ontwerpen (Algemeen)**
- **Onderzoeksvaardigheden**
- **Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten**
- **Ruimte voor eigen uitwerking leerlingen**

Zwaartepunten Newton §7



Zwaartepunten Newton §7 (Zonder Opgaven)

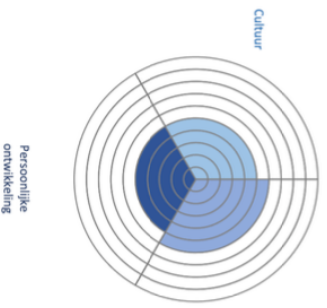


- **Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- **Maatschappelijke context van het model**
- **Interpretaties van modellen**
- **Experimenten en meetdata**
- **Het nut van natuurwetenschap**
- **Meetmethoden**
- **Kennis over het vak Natuurkunde**
- **Natuurwetenschappelijke werkwijze**
- **Wetenschappelijke toepassingen**
- **Verklarend vermogen van natuurkunde**
- **Samenhang met andere bètavakken**
- **Specifieke vaktermen voor vervolgstudie**
- **Basisformalisme over het onderwerp**
- **Kwantificerende karakter van Natuurkunde**
- **Verwevenheid met Wiskunde**
- **Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie**
- **Maatschappelijke opbrengst**
- **Technisch ontwerpen**
- **Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk**
- **Probleemoplossen**
- **Kritisch evalueren en analyseren**
- **Onderzoeksvaardigheden**
- **Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten**

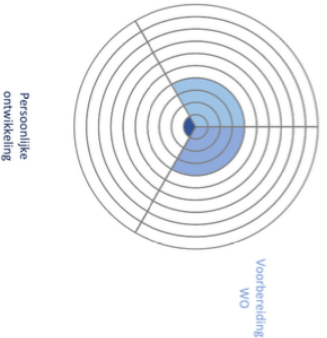
Natuurkunde Overall

§1

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §1



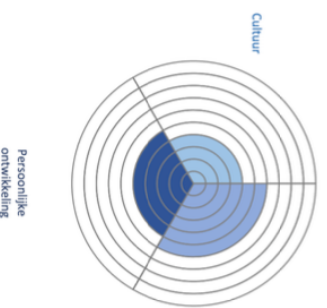
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §1 (Zonder Opgaven)



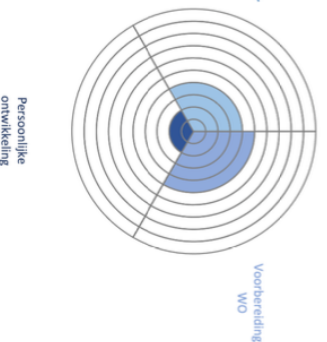
- Verschillen tussen modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Ontwerpen (Algemeen)
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§2

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §2



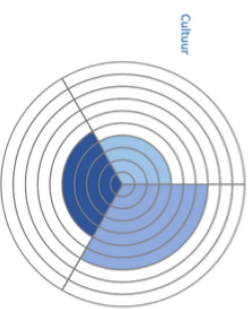
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §2 (Zonder Opgaven)



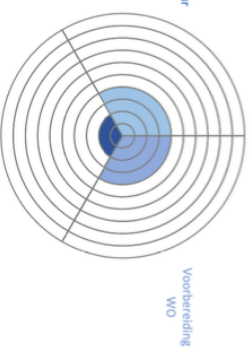
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Verschillen tussen modellen
- Maatschappelijke context van het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§3

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §3



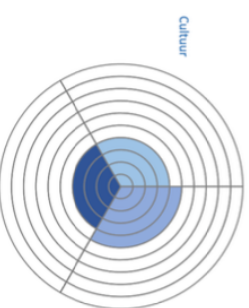
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §3 (Zonder Opgaven)



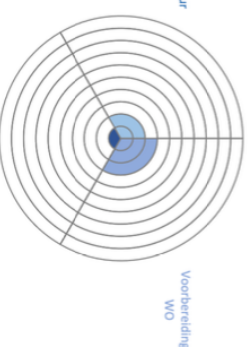
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Verbazing en verwondering
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Culturele aspecten van natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§4

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §4



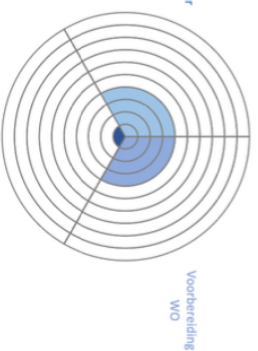
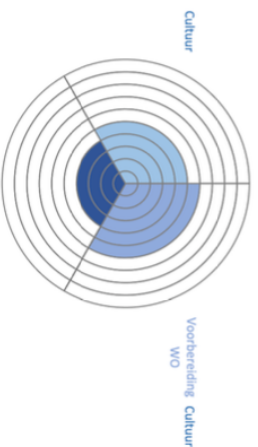
Zwaartepunten Natuurkunde Overall §4 (Zonder Opgaven)



- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Samenhang met andere bètavakken
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§5

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §5

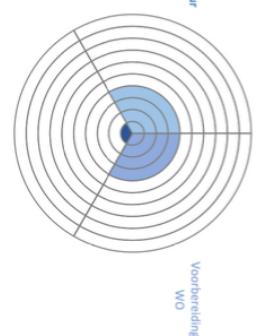
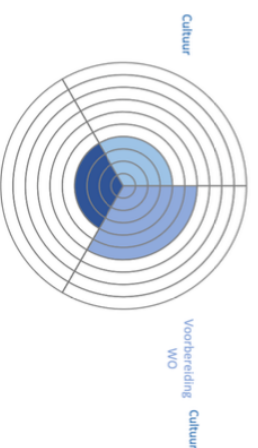


Zwaartepunten Natuurkunde Overall §5 (Zonder Opgeven)

- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Verschillen tussen modellen
- Het ontstaan van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Natuurwetenschappelijke werkwijze
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Het leren verwerken/hoepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§6

Zwaartepunten Natuurkunde Overall §6

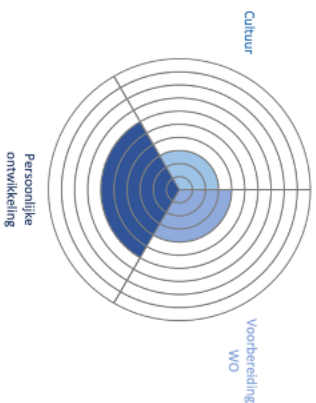


Zwaartepunten Natuurkunde Overall §6 (Zonder Opgeven)

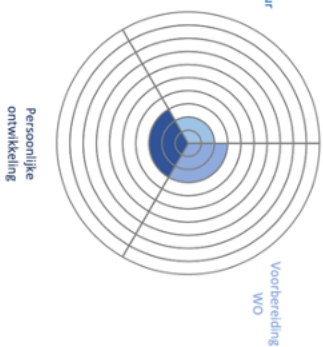
- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Oriëntatie op Natuurwetenschappelijke vakken
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklaarend vermogen van natuurkunde
- Ontstaan van de behandelde kennis
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Historische aspect van natuurkunde
- Het leren verwerken/hoepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§1

Zwaartepunten Syllabus Elektriciteit §1

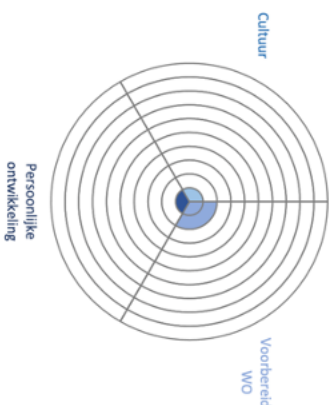


Zwaartepunten Syllabus Elektriciteit §1 (zonder opgaven)

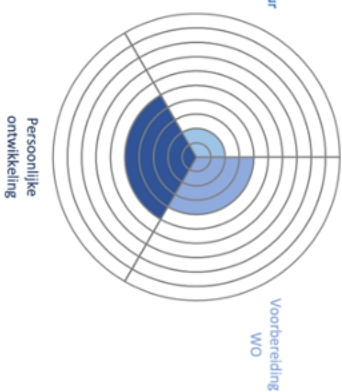


§2

Zwaartepunten Syllabus Elektriciteit §2 (zonder opgaven)



Zwaartepunten Syllabus Elektriciteit §2

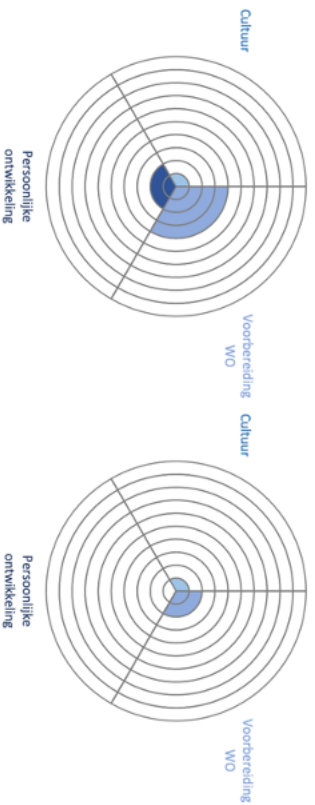


- Interpretaties van modellen
- Meetmethoden
- Kennis over het vak Natuurkunde
- Algemene toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Maatschappelijke impact van het model
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Gezondheid en veiligheid
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Zelfstandig leren en werken

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Algemene toepassingen
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Experimenten en meetdata
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§3

Zwaartepunten Systeem Electrotechniek §3

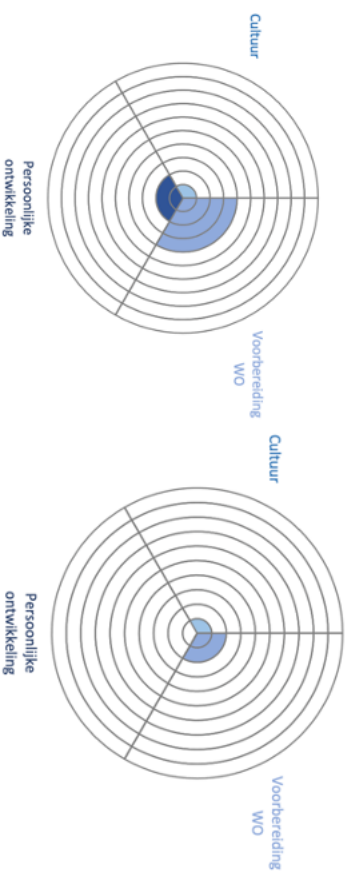


Zwaartepunten Systeem Electrotechniek §3 (Zonder opgaven)

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie**
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde**
- Verwevenheid met Wiskunde**
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie**
- Experimenten en meetdata**
- Technisch ontwerpen**
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk**
- Probleemoplossen**
- Kritisch evalueren en analyseren**
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten**

§4

Zwaartepunten Systeem Electrotechniek §4

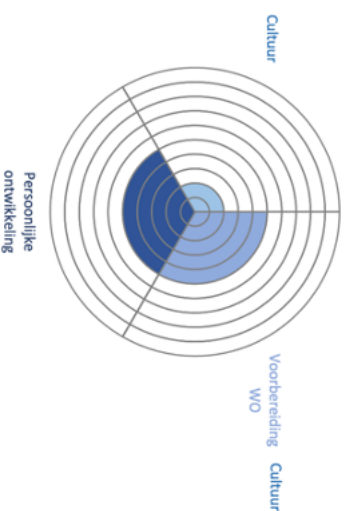


Zwaartepunten Systeem Electrotechniek §4 (zonder opgaven)

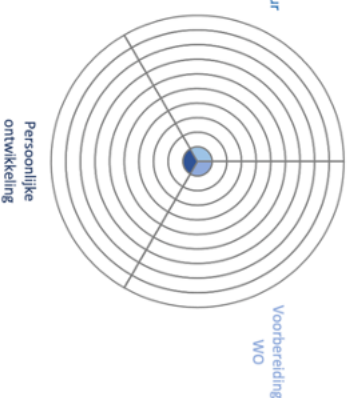
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model**
- Specifieke vakt termen voor vervolgstudie**
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde**
- Verwevenheid met Wiskunde**
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie**
- Experimenten en meetdata**
- Technisch ontwerpen**
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk**
- Probleemoplossen**
- Kritisch evalueren en analyseren**
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten**

§5

Zwaartepunten SyNat Elektriciteit §5



Zwaartepunten SyNat Elektriciteit §5 (zonder opgaven)



Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model

Algemene toepassingen

Specifieke vaktemen voor vervolgstudie

Basisformalisme over het onderwerp

Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie

Technisch ontwerpen

Experimenten en meetdata

Meetmethoden

Verklarend vermogen van natuurkunde

Concepten uit het dagelijks leven

Kwantificerende karakter van Natuurkunde

Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk

Probleemoplossen

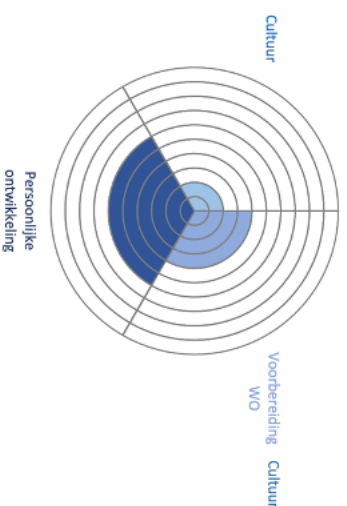
Kritisch evalueren en analyseren

Onderzoeksvaardigheden

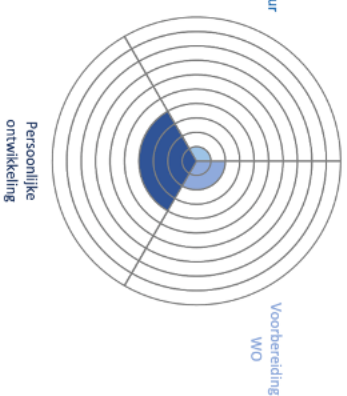
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§6

Zwaartepunten SyNat Elektriciteit §6



Zwaartepunten SyNat Elektriciteit §6 (zonder opgaven)



Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model

Het nut van natuurwetenschap

Algemene toepassingen

Verklarend vermogen van natuurkunde

Concepten uit het dagelijks leven

Specifieke vaktemen voor vervolgstudie

Basisformalisme over het onderwerp

Kwantificerende karakter van Natuurkunde

Verwevenheid met Wiskunde

Gezondheid en veiligheid

Experimenten en meetdata

Technisch ontwerpen

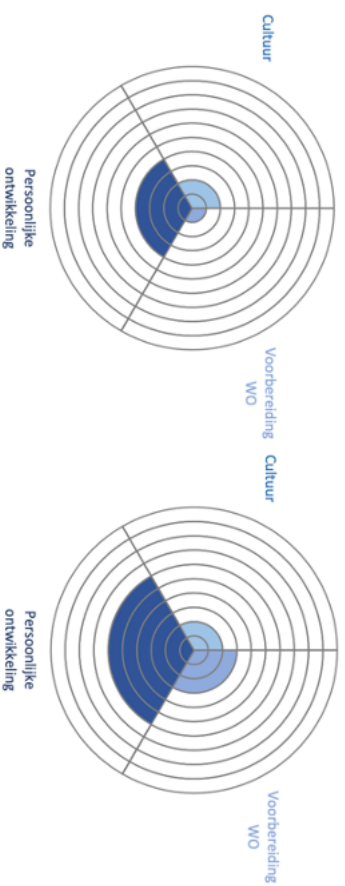
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk

Probleemoplossen

Kritisch evalueren en analyseren

Onderzoeksvaardigheden

Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten



Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model

Het nut van natuurwetenschap

Algemene toepassingen

Verklarend vermogen van natuurkunde

Concepten uit het dagelijks leven

Basisformalisme over het onderwerp

Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie

Maatschappelijke opbrengst

Gezondheid en veiligheid

Kwantificerende karakter van Natuurkunde

Aandacht voor beroepspraktijk

Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk

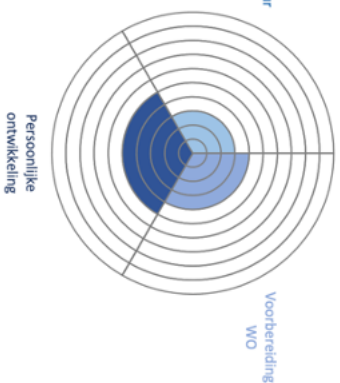
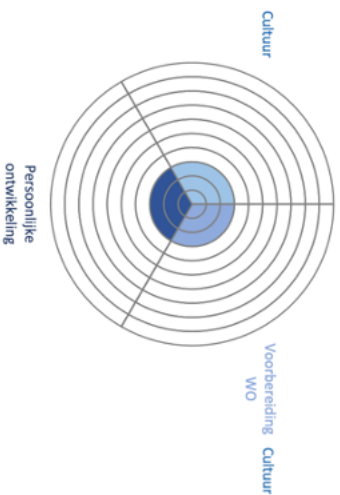
Probleemoplossen

Kritisch evalueren en analyseren

Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§B.1

Zwaartepunten SynNat Geofysica §1 (zonder opgaven)

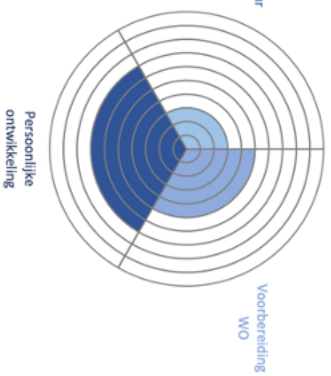
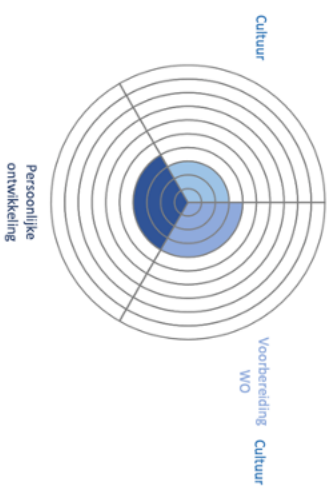


Zwaartepunten SynNat Geofysica §1

- Maatschappelijke impact van het model
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Oriëntatie op natuurwetenschappen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Ontstaan van de behandelde kennis
- Concepten uit het dagelijks leven
- Samenhang met andere bètavakken
- Specifieke vaktermen voor vervolgstudie
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§B.2

Zwaartepunten SynNat Geofysica §2 (zonder opgaven)



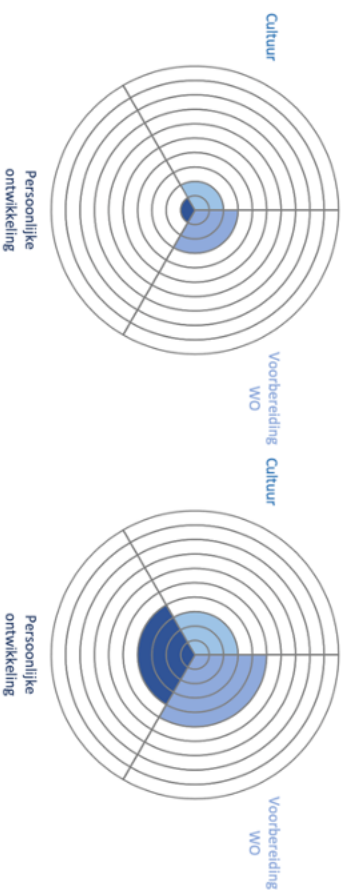
Zwaartepunten SynNat Geofysica §2

- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Meetmethoden
- Oriëntatie op natuurwetenschappen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Samenhang met andere bètavakken
- Basisformalisme over het onderwerp
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Gezondheid en veiligheid
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Onderzoeksvaardigheden
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§B.3

Zwaartepunten Systeem Geofysica §3 (zonder opgaven)

Zwaartepunten Systeem Geofysica §3

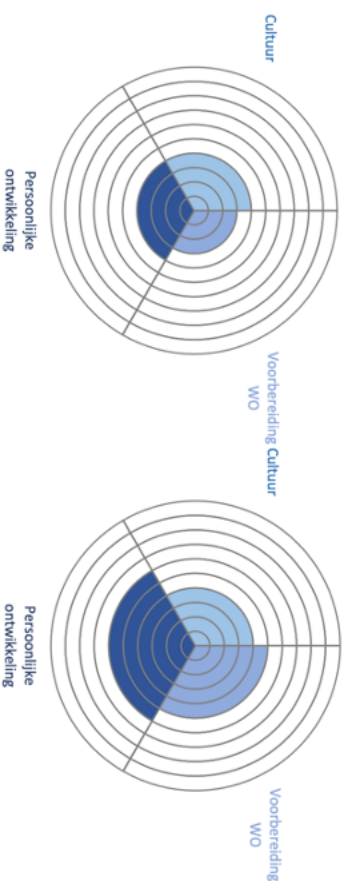


- Randvoorwaarden en de aard van modellen
- Verschillen tussen modellen
- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Natuurwetenschappelijke werkwijze
- Wetenschappelijke toepassingen
- Samenhang met andere bètavakken
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Verwevenheid met Wiskunde
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Experimenten en meetdata
- Het nut van natuurwetenschap
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

§B.4

Zwaartepunten Systeem Geofysica §4 (zonder opgaven)

Zwaartepunten Systeem Geofysica §4



- Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model
- Interpretaties van modellen
- Experimenten en meetdata
- Meetmethoden
- Verbazing en verwondering
- Algemene toepassingen
- Wetenschappelijke toepassingen
- Verklarend vermogen van natuurkunde
- Concepten uit het dagelijks leven
- Samenhang met andere bètavakken
- Basisformalisme over het onderwerp
- Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie
- Gezondheid en veiligheid
- Kwantificerende karakter van Natuurkunde
- Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk
- Probleemoplossen
- Kritisch evalueren en analyseren
- Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten

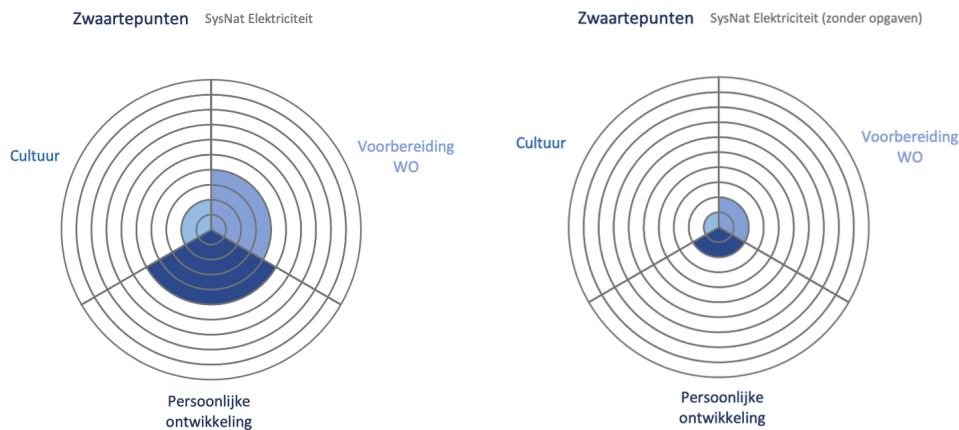
Onderwerpen	Score		
	Newton	SysNat	NatOverall
Randvoorwaarden en de aard van modellen	2	1	4
Verschillen tussen modellen	0	2	3
Het ontstaan van modellen	1	1	1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	7	3	5
Maatschappelijke impact van het model	4	1	2
Interpretaties van modellen	7	6	6
Experimenten en meetdata	7	6	6
Het nut van natuurwetenschap	3	4	0
Meetmethoden	3	0	5
Verbazing en verwondering	2	0	1
Kennis over het vak Natuurkunde	5	3	5
Oriëntatie op natuurwetenschappen	1	4	1
Natuurwetenschappelijke werkwijze	3	5	1
Algemene toepassingen	2	1	0
Wetenschappelijke toepassingen	7	6	6
Verklarend vermogen van natuurkunde	7	6	6
Ontstaan van de behandelde kennis	1	1	1
Motiverend karakter	1	0	0
Concepten uit het dagelijks leven	2	1	3
Samenhang met andere bètavakken	1	1	1
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	7	6	6
Basisformalisme over het onderwerp	7	5	3
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	6	6	6
Verwevenheid met Wiskunde	5	6	5
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	7	6	6
Maatschappelijke opbrengst	4	2	2
Historische aspect van natuurkunde	4	2	4
Culturele aspecten van natuurkunde	4	2	3
Aandacht voor beroepspraktijk	0	0	0
Gezondheid en veiligheid	0	0	0
Technisch ontwerpen	1	0	0
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk	7	6	6
Probleemoplossen	6	5	6
Kritisch evalueren en analyseren	7	6	6
Ontwerpvaardigheden	2	0	1
Modelleren	0	1	0
Onderzoeksvaardigheden	5	5	2
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	7	6	6
Zelfstandig leren en werken	0	1	0
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit	3	0	0

Figuur E.1: Score per leerboek.

E.1 Analyse hoofdstukken Elektriciteit en Geofysica

Ter vergelijking zijn er van het leerboek Systematische natuurkunde ook twee andere hoofdstukken geanalyseerd. Het doel hierachter is tweedelig. Als eerste is het illustratief om te bekijken of een andere accentverdeling voorkomt is bij een ander domein en of hieruit interessante voorbeelden zijn te halen. Anderzijds kan het waardevol om te kijken of het reflecteren op onderwijsdoelen bij andere domeinen ook potentie heeft om te onderwijspraktijk te ondersteunen.

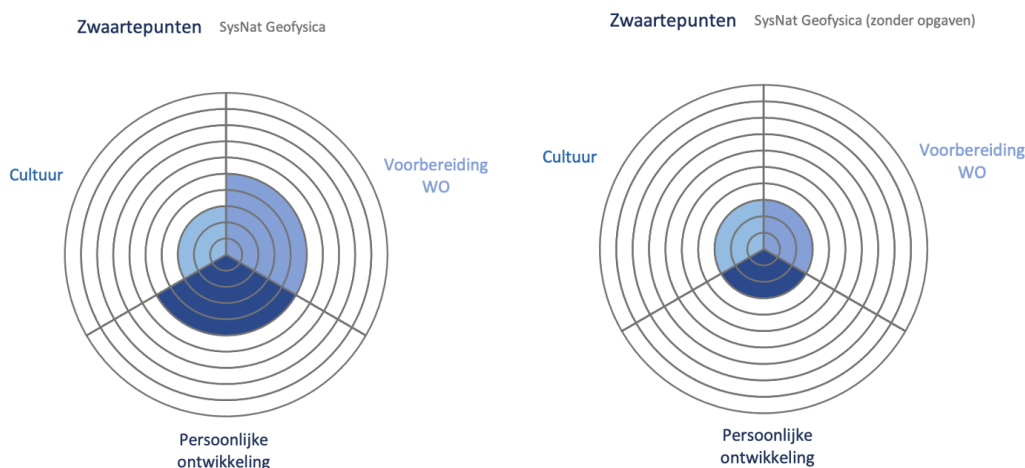
Het eerste geanalyseerde hoofdstuk is het hoofdstuk Elektrische Schakelingen. Een gebied dat minstens honderd jaar ouder is dan quantummechanica. Het domein wordt dan ook al langer in het middelbaar onderwijs gegeven. Als we kijken naar de invulling van onderwijsdoelen door de leertekst allen (de rechter diagram in Figuur E.2), dan valt op dat er in het hoofdstuk elasticiteit minder invulling gegeven wordt aan *Cultuur en Structuur van Wetenschap* en *Vorbereiding WO*. Dit komt met name doordat het Quantumwereld hoofdstuk vaker theorie interpreteert, meer gebruik maakt van schakelingen of data en toepassingen meer in de wetenschappelijke hoek uitlicht. Ook wordt er in het hoofdstuk Elektriciteit nauwelijks gekeken naar het ontstaan of de impact van de theorieën, wat in het hoofdstuk Quantumwereld wel gebeurt.



Figuur E.2: Zwaartepunten van het hoofdstuk Elektriciteit van de leerboek Systematische Natuurkunde met en zonder opgaven.

Wanneer we een blik werpen op de gehele paragraaf, inclusief opdrachten, zien we dat het hoofdstuk Elektriciteit in verhouding meer invulling geeft aan *Persoonlijke Ontwikkeling* dan *Vorbereiding WO*. Dit is te verklaren omdat het hoofdstuk in de opdrachten veel gebruik maakt van contexten uit de leefwereld. De leerling leert door middel van deze opdrachten de modellen toepassen in een herkenbare praktijk. Ook zijn er opdrachten die bezig zijn met duurzaamheid en veiligheid. Naast veel nuttige vaardigheden, leren deze opdrachten de leerlingen impliciet ook iets over de toepasbaarheid. Bij het hoofdstuk Quantumwereld zijn opdrachten met meer verbinding met de leefwereld minder te vinden. De lagere invulling voor het accent *Cultuur* zal de lezen van het hoofdstuk niet onverwacht overkomen. Men heeft bij het lezen van het hoofdstuk Elektriciteit minder actief het idee dat hier wat over (natuur)wetenschap geleerd wordt. Daar wordt bij het hoofdstuk Quantumwereld meer tijd aan besteed.

Systematische Natuurkunde heeft ook meerdere keuzemodules. Deze keuzemodules zijn vaak natuurkundige vakgebieden die niet in het standaard curriculum zitten of andere vakgebieden die natuurkundige principes gebruiken. Het domein Geofysica laat natuurkundige aspecten zien van de wetenschap rondom de aarde als planeet. De onderwerpen 'binnenkant van de aarde', seismiek, valversnelling, aardbevingen en het aardmagnetisch veld worden met name behandeld. Het valt op dat de leertekst (zonder opgaven) geen specifiek zwaartepunt heeft in accenten. Dit is te verklaren door de verschillende stijlen van de paragrafen. Sommige stukken zijn erg wiskundig van aard terwijl andere paragrafen meetmethodes bespreken of een verklaring geven voor het noorderlicht bijvoorbeeld.



Figuur E.3: Zwaartepunten van het hoofdstuk Elektriciteit van de leerboek Systematische Natuurkunde met en zonder opgaven.

Als we de opdrachten in de analyse meenemen, zien we dat net als bij de andere hoofdstukken de opdrachten het meest bijdragen aan invulling van *Persoonlijke Ontwikkeling* en *Voorbereiding WO*. Ook in dit geval, net als het CE, zien we dat kennis over de culturele eigenschappen van wetenschap minder gemakkelijk wordt getoetst. Wat wel opvalt is dat de vragen uit de hoofdstukken Geofysica en Elektriciteit de leerling vaker vragen om iets uit te leggen dan bij het hoofdstuk Quantumwereld. Dit zou kunnen komen doordat Quantumwereld verder weg van de leefwereld van de leerling zit en vragen dan ook minder gebruik maken van het inzicht van de leerling. Aan de andere kant kan er, zo concluderen docenten in hun feedback op Quantumwereld ook [10], ook kwalitatief met Quantumwereld omgegaan worden.

Samenvattend zien we door deze twee hoofdstukken dat domeinen verschillende accentverdelingen kunnen aannemen. Sommige domeinen kunnen wellicht beter inzetbaar zijn voor bepaalde onderwijsdoelen.

BIJLAGE F

Data Docenten

1. Ben je van mening dat het domein quantumwereld terecht in het examenprogramma zit, waarom? Zo ja, wat is volgens jou de toegevoegde waarde van quantummechanica voor het natuurkunde examenprogramma?

1. Ik ben van mening dat het onderwerp terecht in het examenprogramma zit, maar over de manier waarop het op dit moment in het CE zit, heb ik wat twijfels. Met name vanwege het wat versnipperde karakter van de inhoud. De toegevoegde waarde is voor mij dat er een stuk moderne natuurkunde aan bod komt: zaken die een aantal leerlingen zeker zal interesseren.
2. Ja, dit zit terecht in het natuurkunde-examenprogramma. De toegevoegde waarde is dat leerlingen zien dat in de natuurkunde : 1) alles helemaal niet zo zeker is ; 2) dat in een andere wereld” (nl. die van kleine deeltjes) zaken anders werken/in elkaar zitten ; 3) theorieën (zoals de klassieke mechanica) maar een beperkte geldigheid hebben
3. Deels wel: leerlingen maken toch even kennis met deze revolutionaire ontwikkeling.

2. Wat zou volgens jou de reden(en) zijn waarom leerlingen quantummechanica aangeboden krijgen bij natuurkunde op het vwo?

1. Ik denk dat het invoegen van moderne natuurkunde de voornaamste reden is.
2. (zie ook vorige vraag) anders leren denken, anders leren kijken
3. ”Het wordt ook aangeboden vanwege bepaalde natuurkundige vaardigheden zoals denken in modellen, impuls, golfoptica en interferentie. Daarnaast zie bovenstaande.”

3. Wat is de centrale boodschap uit jouw lessenserie quantumwereld die leerlingen mee moeten krijgen?

1. Voornamelijk verwondering over hoe bijzonder de quantumwereld in elkaar zit. En daarnaast het werken met modellen.
2. in de wereld van kleine deeltjes zijn natuurwetten anders
3. "Een fundamenteel nieuwe natuurkundige theorie die werkt! Dit doen we met geheel nieuwe modellen want natuurkunde is altijd denken in modellen en die modellen worden steeds beter."

4. Welke accenten krijgen in jouw lessenserie het meeste ruimte? Zet de drie accenten op volgorde van veel ruimte naar weinig ruimte.

1. Lastig! Ik denk dat de Cultuur en Structuur van Wetenschap het meeste ruimte krijgt vanuit de verhalen die ik om de stof heen vertel. Als tweede noem ik dan Voorbereiding op Natuurwetenschappelijk Onderwijs. Dat zit hem dan vooral in het omgaan met modellen. Als 3e staat dan Persoonlijke Ontwikkeling. De relatie met het dagelijks leven is wat minder duidelijk. Wel in de voorbeelden die aangehaald worden, maar toch blijkt dit onderdeel wat achter bij de rest denk ik.
2. Persoonlijke ontwikkeling. Voorbereiding Natuurwetenschappelijk Onderwijs. De Cultuur en Structuur van Wetenschap.
3. 1. Cultuur en structuur van wetenschap. 2 Pers. Ontw. 3. Voorbereiding NO

5. Ben je van mening dat er bepaalde onderwerpen of accenten binnen het domein quantummechanica te weinig ruimte krijgen? Zo ja, welke?

1. Ik zo geen beeld bij onderdelen die te weinig ruimte krijgen. Wat wel te weinig ruimte krijgt is de onderlinge samenhang. Ik vind de stofinhoud redelijk fragmentarisch waardoor het vooral blijft bij het aanstippen en noemen van een aantal fenomenen.
2. Ja, de filosofische (of wereldbeeld-kant). Zoals dat alles helemaal niet zo zeker is, dat we per definitie iets niet zeker kunnen bepalen, dat een mechanistisch wereldbeeld niet klopt, dat de invloed van de waarnemer op het waargenomene een rol speelt (dit laatste hoort helaas niet tot de vwo-stof maar is wel een belangrijk onderdeel van kwantummechanica).
3. Nee. De tijd ontbreekt echter om voldoende aandacht te geven aan Quantum.

6. Aan welk onderwijsaccent zou jij meer ruimte willen geven in je eigen lessenserie, waarom?

1. Vooral de onderlinge samenhang en wat ook gaaf zou zijn: de ontwikkeling van de ideeën. Hoe zijn de wetenschappers van destijds tot hun ideeën gekomen (en ook: welke ideeën zijn ook geopperd en verworpen). Dus eigenlijk: de Cultuur en Structuur van Wetenschap.
2. (zie vorige vraag) dit doe ik overigens ook wel, maar als het ook onderdeel van de stof was, zou ik het nog meer doen.
3. "Ik zou in het algemeen meer tijd willen hebben en ook meer gelegenheid om een bijpassend experiment uit te voeren."

7. Ontbreken er volgens jou onderwerpen in de input van het evaluatiemodel of zijn er onderwerpen die volgens jou onduidelijk geformuleerd zijn?

1. Op zich is het wel helder. Als ik de feedback lees denk ik bij verschillende punten wel: ja dat doe ik ook wel, alleen heb ik daar niet de accenten gelegd bij het invullen van het de Model-Input. Ik had dus soms een ander 'gevoel' bij sommige termen dan in de vragenlijst (waarschijnlijk) bedoeld is.
2. nee
3. "Items lijken dubbel te zijn (maar net anders geformuleerd). Ontwerpvaardigheden en modelleren lijken mij niet hier bij te horen."

8. Kwam er uit het evaluatiemodel een andere rangorde in onderwijsaccenten dan dat je had aangegeven in vragenlijst 1? Zo ja, heb je daar een verklaring voor?

1. Nee, ondanks dat ik een aantal zaken 'op gevoel' heb ingevuld, kwam er dezelfde volgorde uit.
2. Ja, persoonlijke ontwikkeling is sterker. Dit vind ik zelf ook wel belangrijk, dus dat komt er dan toch wel uit.
3. Voorbereiding WO scoort toch iets hoger. Volgorde is wel wat arbitrair. Ik twijfel bij meerdere items waardoor de ranking ook iets anders kan worden.

9. Als je de het resultaat vergelijkt met het centraal examen, wat valt je dan op?

1. Daar valt op dat ik het aspect Voorbereiding op het WO wat te strak heb geïnterpreteerd. Meer als 'voorbereiding op een natuurkundestudie' dan in het algemeen, zoals het CE het interpreteerd (zo lijkt het). De suggesties die gedaan worden, zijn zaken die ik eigenlijk ook echt wel doe. Alleen leg ik daar gevoelsmatig niet de nadruk. Dat komt pas in tweede instantie. Ik denk dat ik 'mijn lessenserie' vooral zie als de eerste stap, en aanbrengen van de stof. Daarna komt een fase van intraineren, maar dat zie ik meer als het afhechten, het nawerk, en minder als 'behorend bij de lessenserie'.
2. Dat persoonlijke ontwikkeling een groter aandeel heeft. Maar ik vind dit eigenlijk prima zo.
3. Voorbereiding WO is hier het zwaarstwegend. Bij mij ook en dat komt denk ik door het oefenen met examenopgaven.

10. Als je de het resultaat vergelijkt met het NiNa-rapport, wat valt je dan op?

1. Ik denk dat wat NiNa wil, veel te ambitieus is voor zo'n versnipperd programma. Ik denk dat bijvoorbeeld het 'ontwerpen van toepassingen of experimenten' veel te hoog gegrepen is binnen de ruimte die deze stof biedt.
2. dat ik kennelijk aardig in lijn met NiNa werk.
3. Bij NiNa zijn de items over de gehele breedte meer aanwezig maar daarvoor ontbreekt de tijd.

11. Als je de het resultaat vergelijkt met het gemiddelde van drie leerboeken, wat valt je dan op?

1. Het valt me op dat ook de leerboeken, net als het CE, nogal afwijkt van de NiNa-doelstelling, maar dat het wel mooi aansluit op het CE (of andersom natuurlijk).
2. Ik vind dat de verschillen veel groter zijn weergegeven dan ik denk dat ze zijn.
3. Realistischer gezien de beperkte onderwijstijd die er is voor dit onderwerp.

12. Ben je van mening dat er een bepaald onderwijsaccent meer of minder aandacht mag krijgen binnen jouw lessenserie? Waarom?

1. Misschien dat de Cultuur wat minder aandacht zou mogen krijgen, maar eerlijk gezegd vind ik dat veel te leuk om te doen. De andere twee aspecten krijgen in werkelijkheid al meer aandacht dan uit het diagram blijkt, zoals ik eerder al heb uitgelegd. Wat wellicht wel meer aandacht zou mogen krijgen is de relatie met het dagelijks leven.
2. Nee, ik vind het eigenlijk wel goed zo
3. Ik zou graag een experiment erbij willen betrekken om bijvoorbeeld de constante van Planck te bepalen.

13. Het model heeft ook tekstueel commentaar. Hebben de suggesties die daar genoemd worden nut voor je eigen lessenserie of biedt het aanknopingspunten om lessen mee te evalueren?

1. Ik heb eerlijk gezegd deze opmerkingen ook al gebruikt om de diagrammen te interpreteren. Dus in die zin heb ik er zeker wat aan.
2. Ik ben het er niet zo mee eens (m.n. bij het verschil met de leerboeken)
3. "Dat zou binnen NLT mogelijk beter kunnen. Ook daar is een module Quantumfysica. Er zijn allerlei zinvolle suggesties maar het ontbreekt aan tijd."

14. Ben je van mening dat sommige inzichten uit het model een positief effect kan hebben op jou onderwijspraktijk of de onderwijspraktijk in het algemeen? Licht je antwoord toe.

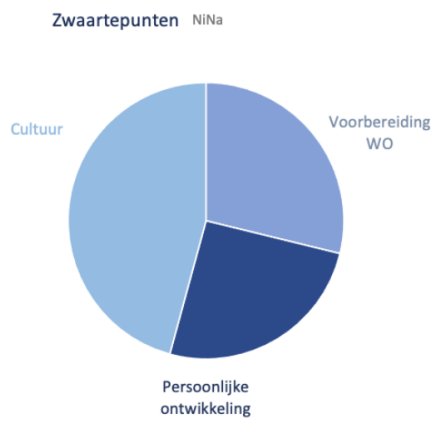
1. Ja, op zich wel. Maar ik moet nog wel even goed gaan denken hoe ik dat zou moeten aanpakken. Ik vind het materiaal in het boek ook nog niet heel erg steun-biedend.
2. nee
3. "Ik denk het niet, ik volg zo goed en kwaad als dat gaat het lesboek en dat krijg ik nooit af. Tijdens de lessen geef ik ook eigen aanvullingen (zoals maatschappelijke relevantie)"

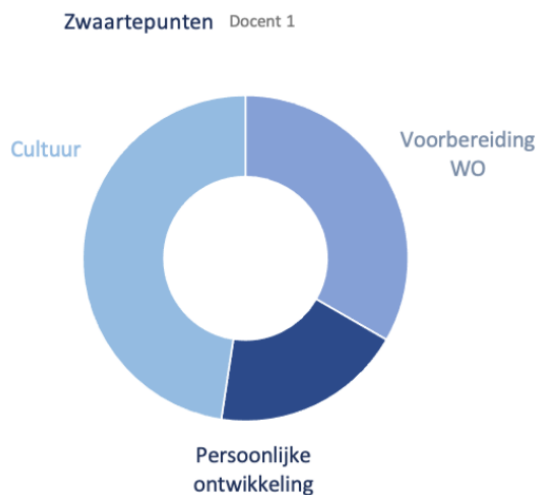
Onderwerpen	Score		
	Docent 1	Docent 2	Docent 3
Randvoorwaarden en de aard van modellen	1	1	1
Verschillen tussen modellen	0	1	1
Het ontstaan van modellen	1	0	1
Bruikbaarheid en toepasbaarheid het model	1	1	1
Maatschappelijke impact van het model	0	0	0
Interpretaties van modellen	0	0	1
Experimenten en meetdata	0	0	0
Het nut van natuurwetenschap	0	0	1
Meetmethoden	0	0	0
Verbazing en verwondering	1	1	1
Kennis over het vak Natuurkunde	1	1	1
Oriëntatie op natuurwetenschappen	0	0	1
Natuurwetenschappelijke werkwijze	1	1	0
Algemene toepassingen	0	0	0
Wetenschappelijke toepassingen	1	1	1
Verklarend vermogen van natuurkunde	1	1	1
Ontstaan van de behandelde kennis	1	0	1
Motiverend karakter	1	0	1
Concepten uit het dagelijks leven	0	1	1
Samenhang met andere bètavakken	0	0	0
Specifieke vaktermen voor vervolgstudie	0	1	0
Basisformalisme over het onderwerp	1	1	1
Kwantificerende karakter van Natuurkunde	1	0	1
Verwevenheid met Wiskunde	0	1	1
Concepten voor natuurwetenschappelijke vervolgstudie	0	1	1
Maatschappelijke opbrengst	0	0	0
Historische aspect van natuurkunde	1	1	1
Culturele aspecten van natuurkunde	1	0	1
Aandacht voor beroepspraktijk	0	0	1
Gezondheid en veiligheid	0	0	0
Technisch ontwerpen	0	0	0
Het leren verwerken/toepassen van kennis in de praktijk	0	0	0
Probleemoplossen	1	1	1
Kritisch evalueren en analyseren	1	1	1
Ontwerpvaardigheden	0	0	0
Modelleren	1	0	0
Onderzoekvaardigheden	1	0	0
Verwoorden van natuurwetenschappelijke aspecten	0	1	1
Zelfstandig leren en werken	0	1	0
Leerlingen werken op hun eigen manier de stof uit	0	0	0

Figuur F.1: Scores die de drie docenten hebben ingevuld.

BIJLAGE G

Variaties Visueel Resultaat (Diagrammen)





BIJLAGE H

Accentverdelingen

Binnen de literatuur kunnen onderwijsdoelen verschillend gekarakteriseerd worden. Onderwijsdoelen worden het vaakst verdeeld in zogenoemde *accenten*. Er bestaan verschillende accentverdelingen. Een voorbeeld daarvan is de zevendeling

Hieronder worden bondig vier accent-verdelingen besproken die in het onderwijs rondom de natuurwetenschappen voorkomen. De opmerkingen zijn voornamelijk gericht op de toepasbaarheid van de accent-verdeling. Daarmee wordt specifiek bedoeld hoe makkelijk onderwijsdoelen in de praktijk verdeeld kunnen worden onder de accenten en of de accent-verdeling voldoende contrast biedt om de praktijk mee te evalueren. Deze opmerkingen zijn daarmee al een voorzet op het behandelen van de deelvragen en het programma van eisen dat in hoofdstuk vier beschreven staat.

De accent-verdelingen zijn gedeeltelijk geciteerd uit het Handboek Natuurkundedidactiek [13] en uit de verder geciteerde bronnen die bij elke verdeling genoemd zijn. Aan het einde van deze paragraaf wordt besproken welke accent-verdeling de basis gaat vormen voor het evaluatiemodel. Deze accent-verdeling wordt vervolgens gebruikt door het evaluatiemodel om te onderzoeken aan welke accenten het quantumonderwijs het meest ruimte geeft of zou moeten geven. In hoofdstuk vier en appendix A wordt in het ontwerpproces uitgewerkt op welke manier de verdeling wordt toegepast in het evaluatiemodel.

Zeven Curriculum Emphases

Een uitgebreide zeven-deling is in 1982 door Douglas Roberts voorgesteld aan de hand van zijn analyse over natuurwetenschappelijk onderwijs en de vraag 'why students should learn science' [49]. De verdeling is als volgt opgesteld:

1. **Everyday Coping:** Kennis ter ondersteuning in het dagelijks leven.
2. **Structure of Science:** Kennis over de aard en structuur van wetenschap.
3. **Science, Technology and Decisions:** Kennis over dilemma's, limieten en vraagstukken rondom Natuurkunde.
4. **Scientific Skill Development:** Vaardigheden voor het doen van wetenschappelijke activiteiten.
5. **Correct Explanations:** Kennis over de producten en de zeggenschap van Natuurwetenschap.

6. **Self as Explainer:** Ontwikkeling van Natuurwetenschap als instituut vanuit een cultureel perspectief.
7. **Solid Foundation:** Voorbereiding op vervolg natuurwetenschappelijk onderwijs.

Hier valt op dat sommige accenten duidelijker zijn dan andere en dat sommige accenten elkaar overlappen. Hoewel sommige onderwerpen gemakkelijk bij een specifiek accent onder te brengen zijn, zijn andere onderwerpen weer over meerdere accenten te verdelen. Een praktisch voorbeeld hiervan is de situatie waarin een docent laat zien hoe er in de geschiedenis verschillende modellen zijn ontwikkeld om een atoom te beschrijven. Dit vertelt de leerling wat over de aard van wetenschap (nr. 2), over de limieten van modellen (nr. 3) en over producten van natuurwetenschap (nr. 4). Deze 'meerkleurigheid' is het geval bij meer onderwerpen binnen het natuurkunde onderwijs. Dit maakt dit model analytisch minder makkelijk toepasbaar zoals Kortland ook aangeeft [13]. Het model is in toepasbaarheid wel compleet. Alle accenten bij elkaar vertegenwoordigen de volledige breedte van verschillende doelen rondom onderwijs in de natuurwetenschappen. Vrijwel ieder onderwerp is ergens in te delen.

Hoewel de zeven-deling van Roberts inzichten kan bieden in het onderwijs en het onderzoek daaromheen, is dit model onderhevig aan interpretatie, met name rondom de reikwijdte van elk accent. Dit maakt het koppelen van de onderwerpen aan de verschillende accenten lastig. Dit is ook terug te zien in appendix B waar de eigen interpretatie van Roberts veel onderwerpen in meerdere accenten kan laten plaatsen. Ook Berkel heeft dit ondervonden en heeft toen een aantal suggesties besproken waarop onder andere het driedelig model op gebaseerd is [31].

Vier aims of science education

Michael Reiss probeert in 2007 de vraag te beantwoorden wat het doel moet zijn van wetenschappelijk onderwijs op de middelbare school [48]. Hij bespreekt daarvoor de volgende verdeling:

1. **Supply for Future Scientists:** Kennis ter voorbereiden voor natuurwetenschappelijk onderwijs en onderzoek.
2. **Scientific Literacy:** Kennis om natuurwetenschappelijke aspecten te begrijpen gericht op de aard, de praktijk en de opbrengst en de cultuur van wetenschap.
3. **Individual Benefit:** Algemeen nuttige kennis en vaardigheden. Bijvoorbeeld rondom loopbaan, besluitvorming, veiligheid, gezondheid en basiskennis voor technische en wetenschappelijke toepassingen.
4. **Democracy, Socio-political Action and Criticality:** Vaardigheden om op een geïnformeerde, kritische, politieke en weloverwogen manier deel te nemen aan de samenleving.

Hoewel deze vier-deling al meer contrast biedt en dus gemakkelijker in te delen is, kan men zich afvragen in hoeverre de vierde categorie objectief het onderscheiden waard is. De kennis die bij het vierde accent te pas komt, zoals een kritische en geïnformeerde houding, komt niet alleen specifiek te pas bij politieke of demografische situaties. Het nut om contrast aan te brengen tussen het derde en vierde deel zal daarmee in de praktijk minder groot zijn.

De vierdeling van Reiss lijkt in essentie al op de driedeling hieronder met als extra onderscheid het accent op *Democracy, Socio-political Action and Criticality*. De onderwijspraktijk in Nederland heeft al laten zien dat dit extra onderscheid niet nodig is voor een krachtige analyse [32]. Ook is de samenleving in zekere zin minder het onderscheiden waard in een specifiek accent. Vaardigheden rondom persoonlijke ontwikkeling vinden juist plaats in de context van een sociaal en politieke samenleving. Het goed functioneren in de samenleving vormt daarmee een van de checks voor persoonlijke ontwikkeling.

Driedelige doelstelling van Natuurkunde

Al in 1928 concludeerde de commissie Fokker, samengesteld door de Nederlandse Natuurkunde Vereniging (NNV), over het doel van Natuurkunde het volgende: ‘...zoodat de leerling ervaart hoe natuurkennis wordt verkregen en is verkregen. Het moet leiden tot kennis van de belangrijkste theorieën, bekendheid met de voornaamste toepassingen der natuurkunde in het dagelijksch leven en in de techniek, en inzicht in de historische ontwikkeling van enkele problemen.’ [29]

Deze inhoud komt in de context van het Nederlandse onderwijs regelmatig terug bijvoorbeeld in onderzoek rondom het scheikunde onderwijs waar deze driedeling als eerst wordt benoemd vanuit de zeven-deling van Roberts [31]. Later komt deze driedeling onder andere expliciet naar voren in een onderzoek naar curriculum vernieuwingen en de voorkeur voor docenten voor bepaalde onderwijsdoelen [32]. Hier wordt de volgende drie-deling behandeld:

1. **Fundamentele natuurwetenschap:** Kennis die een basis vormt om de wereld te begrijpen en die nodig is voor de verdere opleiding die een leerling gaat volgen.
2. **Kennisontwikkeling in de natuurwetenschap:** Kennis van de ontwikkeling van natuurwetenschappen in de sociaal-historische context, zodat leerlingen leren dat de natuurwetenschap een cultureel bepaald kennissysteem is dat zich continu ontwikkelt.
3. **Natuurwetenschap, technologie en samenleving:** Kennis om te communiceren en beslissingen te nemen over onderwerpen uit de samenleving die natuurwetenschappelijke aspecten kennen.

De Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs (in het kort CVN) hanteert een soortgelijke verdeling met de volgende bewoording [30]:

1. **Natuurkunde als discipline en voorbereiding op vervolgstudies:** Kennis van concepten, methodes en wiskunde als middelen om verschijnselen in natuur en techniek te verklaren, te begrijpen en te voorspellen. Hierin heeft het schoolvak natuurkunde een taak voor de leerlingen in de natuurprofielen, die aansluit bij die van de andere natuurwetenschappelijke vakken.
2. **Natuurkunde als bijdrage aan persoonlijke ontwikkeling:** Kennis rondom analyseren en probleemoplossen van leerlingen. Oriëntatie op Natuurkunde als vak en op studies en beroepen op terreinen waar natuurkundigen werkzaam zijn, in onderzoek, gezondheidszorg en het bedrijfsleven.
3. **Natuurkunde als onderdeel van de cultuur:** Kennis over grote ontdekkingen in de natuurwetenschappelijke vakken en de daarmee samenhangende culturele en

technologische ontwikkelingen die als geheel het wereldbeeld van de moderne maatschappij in hoge mate beïnvloeden. Daarnaast kennis en begrippen leren hanteren die van belang zijn om de wereld om hen heen te begrijpen, deel te nemen aan discussies en besluitvorming, mediaberichten te interpreteren enzovoort.

Ook hier is de verdeling logischerwijs aan interpretatie overgelaten. Zo ligt het bij de bovenste drie-deling voor de hand om 'kennis om de wereld te begrijpen' ook te plaatsen onder het derde onderwijsaccent: Natuurwetenschap, technologie en samenleving. De bewoording die de CVN hanteert is in de verwoording iets praktischer gesteld op de vervolgopleiding. Toch is kennis over Natuurkunde als discipline essentieel om Natuurkunde als onderdeel van de cultuur te bestuderen.

Tweedeling van de algemene doelen van Natuurkunde

Als laatste model versimpelt Koos Kortland het eigenlijk tot twee doelen[13]:

1. **Oriëntatie en voorbereiding op vervolgonderwijs:** Kennis ter voorbereiding en oriëntatie op een Natuurwetenschappelijke studie.
2. **Algemene vorming:** Kennis rondom het begrijpen en verwoorden van natuurwetenschappelijke en technische ontwikkelingen in het leven van de leerling in persoonlijke/maatschappelijke/politieke context.

De tweedeling die Kortland aangeeft is in die zin relatief gemakkelijk in te vullen, maar zal minder informatie verschaffen dan de driedeling in de praktijk. Juist de cultureel relevante aspecten komen bij het quantumonderwijs meer om de hoek kijken door haar historische en wetenschappelijke impact. Vooral een onderliggend argument rondom 'nieuwe natuurkunde' is hier een voorbeeld van [30]. Het is daarom vruchtbaar om het accent rondom de cultuur en structuur van wetenschap specifiek uit te lichten.

Het mag de lezer inmiddels duidelijk zijn dat elke verdeling de nodige beperkingen met zich meebrengt, maar dat het in de praktijk wel helpt om de vraag te beantwoorden waarom Natuurkunde op de middelbare school wordt gegeven. Dit concludeerde Koos Kortland ook, de verdelingen zijn bedoeld om discussies mogelijk te maken en het onderwijs te ondersteunen [13]. Het gaat hierbij niet om de 'meest juiste' verdeling, maar een consistent gebruik van een dergelijke verdeling. De verdelingen kunnen ons dus helpen om naar de doelstellingen van het quantumonderwijs te kijken. Wanneer een dergelijke verdeling impact wil maken in de onderwijspraktijk zal deze intuïtief te gebruiken moeten zijn voor docenten, leerlingen en andere betrokkenen in het onderwijs.

Met de hierboven en genoemde opmerkingen en het programma van eisen van het evaluatiemodel (zie Appendix A.2) is ervoor gekozen om als basis voor het evaluatiemodel een driedelige accentverdeling te gebruiken gebaseerd op de 'Driedelige doelstelling van Natuurkunde'. In hoofdstuk 4 zal de verdeling in detail uitgewerkt worden voor het evaluatiemodel.